(Aus dem Zoologischen Institut der Universität Leipzig.)

Zur Kenntnis der Katalase der niederen Tiere

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Universität Leipzig.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

Vorgelegt von

Rudolf Zieger

aus Frankenberg, Sa.

Verlagsbuchhandlung von Julius Springer in Berlin.
1915.

Angenommen von der III. Sektion auf Grund der Gutachten der Herren Steche und Pfeffer.

Leipzig, den 23. Juni 1914.

Der Procancellar.
Kirchner.

(Aus Biochemische Zeitschrift, Bd. 69, Heft 1, S. 39 bis 110. 1915.)

Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit gewidmet.

Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.
1. Kapitel: **Material und Methodik.**
   a) Darstellung der Fermentlösungen.
   b) Versuchsanordnung bei den quantitativen Messungen.
2. Kapitel: **Biologischer Teil.**
   a) Einfluß der Lebensweise auf den Katalasegehalt der ganzen Tiere.
   b) Verteilung der Katalase im Körper.
      1. Katalasegehalt der Leber.
      2. Katalasegehalt der Niere.
      3. Katalasegehalt des Darmes.
      4. Katalasegehalt des Fettgewebes.
      5. Katalasegehalt der Lymphe.
   c) Änderung der Katalase im Lebenszyklus.
      1. Aktivierung im Sommer.
      2. Änderungen bei der Entwicklung.
3. Kapitel: **Reaktionskinetische Untersuchungen.**

Zusammenfassung.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545813_0059

Einleitung.

Trotz zahlreicher und eingehender Untersuchungen ist es erst 1901 Loew gelungen, einwandfrei nachzuweisen, daß die Fähigkeit der Organismen, Wasserstoffsuperoxyd zu spalten, einem speziellen Enzym zukommt, das er Katalase nannte. Hier auf die seit dieser Zeit sehr reichlich einsetzende Literatur weiter einzugehen erübrigt sich, da bereits sehr gute zusammenfassende Werke vorhanden sind[1]).

Trotz dieser zahlreichen Untersuchungeu ist die biologische Bedeutung der Katalase noch sehr unsicher. Wir wissen, daß die Katalase ein allgemein verbreitetes Ferment ist, das H_2O_2 spaltet, wobei molekularer Sauerstoff (O_2) entsteht; welche Faktoren aber den verschiedenen Katalasegehalt der Tiere und Pflanzen bedingen, darüber ist etwas Sicheres nicht bekannt.

Die letzten Versuche, die biologische Bedeutung der Katalase zu erklären, haben Steche und Waentig[2]) gemacht. Die Notwendigkeit, die Angaben früherer Autoren über die Kinetik dieses Enzyms nachzuprüfen, führte sie zur Aufstellung einer

---

[1]) Ich weise besonders zwecks kurzer Orientierung auf die Arbeiten von Oppenheimer, „Die Fermente und ihre Wirkungen" II. Teil, und von Battelli und Stern, „Die Katalase" (Ergebnisse der Physiol. **10**, 1910) hin, die auch ausführliche Literaturverzeichnisse bringen. Ich führe nur die Arbeiten an, die in dem Literaturverzeichnis von Battelli und Stern nicht vorhanden sind.

[2]) Waentig und Steche, Über die fermentative Hydroperoxydzersetzung. I. Mitteil. Zeitschr. f. physiol. Chem. **72**, Heft 3 u. 4, 1911; II. Mitteil. ebenda **76**, Heft 2 u. 3, 1912; III. Mitteil. ebenda **79**, Heft 4, 1912; IV. Mitteil. ebenda **83**, Heft 4, 1913. — Steche und Waentig, Untersuchungen über die biologische Bedeutung und Kinetik der Katalase. Zoologica **67**, 1912.

befriedigenden Theorie über die Kinetik der Katalase. Da sich bei ihren Arbeiten eine Menge neuer, für die physiologische Bedeutung der Katalase wichtiger Gesichtspunkte ergaben, betraute mich Herr Dr. med. et phil. Otto Steche mit der Aufgabe, an der Hand eines möglichst großen Versuchsmaterials die Angaben der früheren Autoren nachzuprüfen und zu versuchen, ob es nicht gelingen möchte, Beziehungen zwischen dem Katalasegehalt und den Lebensvorgängen der Organismen aufzufinden.

Es sei mir noch an dieser Stelle gestattet, Herrn Geheimen Rat Prof. Dr. Chun für die Überlassung des Themas und sein Wohlwollen, das er mir jederzeit entgegenbrachte, meinen ergebensten Dank auszusprechen. Großen Dank schulde ich vor allen Dingen Herrn Privatdozent Dr. Otto Steche, von dem, wie erwähnt, die Anregung zu dieser Arbeit ausging, und Herrn Privatdozent Dr. P. Waentig, die mich immer in äußerst liebenswürdiger Weise mit Rat und Tat unterstützten.

I. Kapitel.

Materialgewinnung und Methodik.

Für meine Versuche verwendete ich fast ausschließlich die wirbellosen Tiere. Der Grund dazu war ein doppelter. Erstens waren die niederen Tiere auf die Katalase hin verhältnismäßig wenig untersucht, und zweitens konnten bei ihnen Fehler in bezug auf die Feststellung der Katalasemengen in den Organen leichter vermieden werden. Während bei den Wirbeltieren durch die hohen Katalasewerte des Blutes in den damit durchtränkten Organen Ungenauigkeiten bedingt sind, kommen sie bei den Wirbellosen infolge des gewöhnlich wesentlich geringeren Katalasegehaltes der Lymphe weniger in Betracht.

Das Material zu meinen Untersuchungen wurde zum größten Teil auf Exkursionen gesammelt, zum Teil auch gekauft und gezüchtet. Im letzteren Falle handelt es sich besonders um die Raupen der Lepidopteren, wie Nymphaliden, Sphingiden, Bombyciden usw., über deren Alter man orientiert sein mußte. Die marinen Tiere stammen teils aus Helgoland, teils aus Rovigno. Großen Dank bin ich, das Material betreffend, Herrn Reichert, stellvertretendem Vorsitzenden des entomologischen

Vereins „Fauna“ zu Leipzig, schuldig, der mir freigiebigst größere Materialmengen zu meinen Untersuchungen überließ.

a) Darstellung der Fermentlösungen.

Zur Herstellung aktiver Fermentlösungen habe ich im Anschluß an Steche und Waentig folgende Methode verwendet. Die ganzen Tiere und ihre Organe — letztere mußten natürlich möglichst rein von anderen Geweben und nicht unter Wasser präpariert werden — wurden genau gewogen und mit einer entsprechenden Menge von chloroformhaltigem, kohlensäurefreiem Wasser verdünnt, nachdem sie vorher mit gewaschenem und geglühtem Quarzsande zu einem feinen, homogenen Brei verrieben worden waren.

Chloroformwasser hat sich als sehr vorteilhaftes Konservierungsmittel bewiesen, eine Schwächung der Aktivität der Katalase durch Chloroform konnte trotz gegenteiliger Befunde von Hoffmann und Spiegelberg nicht bemerkt werden.

Da nach Angaben von Steche und Waentig schon die im destillierten Wasser enthaltene geringe Menge Kohlensäure schädigend auf die Katalase einwirkt, wurde, wie schon oben erwähnt, immer mit CO_2-freiem Wasser gearbeitet. Das gewöhnliche destillierte Wasser wurde, um es CO_2-frei zu machen, ca. 1 Stunde lang gekocht. Um neue CO_2-Adsorption zu verhüten, wurde vor die betreffenden Kochflaschen ein U-Rohr mit Natronkalk vorgeschaltet.

Die Verdünnung der einzelnen Extrakte schwankt je nach der Aktivität der untersuchten Objekte. Durch qualitative Proben kann man nach einiger Übung gut bestimmen, welche Verdünnung man zu wählen hat. Nach ca. $^1/_2$ stündigem Stehen wurden die Extrakte abfiltriert und sofort untersucht (vgl. III. Kapitel).

b) Versuchsanordnung bei den quantitativen Messungen.

Auch die Versuchsanordnung bei den kinetischen Messungen wurde eng nach den Angaben von Steche und Waentig ausgeführt. Die quantitativen Messungen geschahen durch Titration des Wasserstoffsuperoxyds mit Kaliumpermanganat in saurer Lösung. Zu diesem Zweck wurde eine bestimmte Anzahl Kubikzentimeter des Filtrats mit kohlensäurefreiem, destilliertem

Wasser auf 250 ccm verdünnt und dazu gewöhnlich 1 ccm Wasserstoffsuperoxydlösung gegeben. Als Ausgangsmaterial für die H_2O_2-Lösung wurde das Merck'sche Perhydrol benutzt, im Verhältnis 1 : 16 mit destilliertem Wasser verdünnt und davon 1 ccm auf 250 ccm Fermentlösung gebracht, so daß die H_2O_2-Konzentration nach der Mischung ca. $^n/_{400}$ war. Ausgeführt wurden die Versuche im Vakuum und unter ständigem Schütteln des Reaktionsgemisches mit der Hand. In bestimmten Intervallen wurden aus dem Gemisch Proben entnommen von je 30 ccm und in Kölbchen mit verdünnter Schwefelsäure eingelassen. Es wurde stets eine Reihe von 5 bis 6 Bestimmungen ausgeführt. Die zur Ausführung der Titration benutzte Schwefelsäure diente gleichzeitig dazu, die Reaktion zum Stillstand zu bringen. Die nicht zersetzte Menge Wasserstoffsuperoxyd wurde durch Titration mit einer $^n/_{100}$-Kaliumpermanganatlösung bestimmt. Die Berechnung der Konstanten erfolgte nach der die Abweichung im Reaktionsverlauf deutlicher zeigenden Formel für die Reaktion 1. Ordnung:

$$0{,}4343\,K = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \log \frac{c_1}{c_2},$$

wobei t_1 und t_2 zwei aufeinanderfolgende Zeitpunkte der Probeentnahmen, c_1 und c_2 die ihnen entsprechenden Titrationswerte bedeuten. Als Beispiel für die so angestellten Versuche dient Tabelle I.

Tabelle I.

Beispiel für den Reaktionsverlauf der H_2O_2-Zersetzung durch Katalase.

26. VI. 1912. Hydrophylus piceus, Imag. Gew. 4,082 g; mit 102,05 ccm H_2O verdünnt (1 : 25). Filtrat: Trübe, gelblich, neutral. 2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2.				25. XI. 1912. Dyticus marginalis, Imag. Gew. 2,390 g; mit 59,75 ccm H_2O verdünnt (1 : 25). Filtrat: Trübe, gelblich, neutral. 1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2.			
Geschüttelt 11h 19'. Temp. 18°.				Geschüttelt 2h 47'. Temp. 18°.			
t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1' 30"	11,73			1' 30"	13,45		
		2489	7778			2118	13298
3' 30"	10,46			3' 30"	12,20		
		2394				2051	
8' 30"	7,94			7' 30"	10,10		
		2261				1750	
14' 30"	5,81			10' 30"	8,95		
		2103				1848	
21' 30"	4,14			14' 30"	7,95		

Am Kopfe der Tabelle befinden sich immer die Angaben über das Datum, über die Art des untersuchten Materials, für

des Gewicht, für die Eigenschaften des Filtrats, für die angewandte Verdünnung und für die Zeit. Von den drei Kolumnen enthält die erste die Zeit, gerechnet von dem Moment der Zugabe der Fermentlösung zu der H_2O_2-Lösung an bis zu dem Zeitpunkte, bei dem der Inhalt der Pipette in die H_2SO_4-haltigen Kölbchen zu fließen begann; die zweite die Anzahl der Kubikzentimeter der $KMnO_4$-Lösung, die die an den betreffenden Zeitpunkten entnommenen Proben verbrauchten; die dritte die nach obiger Formel berechneten *K*-Werte, mit 10^4 multipliziert. Um diese Werte vergleichen zu können, wurden sie alle auf eine Verdünnung von 1 : 1000 berechnet.

Die Messungen wurden im Wasserbade bei 18° ausgeführt. Diese Temperatur wurde gewählt, da nach Steche und Waentig die Konstanz der *K*-Werte um 18° bedeutend besser ist als bei 0° und höheren Temperaturen, und weil gerade um 18° eine relativ große Unempfindlichkeit gegenüber einer Änderung der H- resp. OH-Ionenkonzentration sich bemerkbar macht.

Die Filtrate wurden stets zu Beginn der Untersuchungen auf ihre Reaktion geprüft. Saure Extrakte, wie die von Camponotus, und alkalische (Murex) wurden neutralisiert. Doch muß man dabei äußerst vorsichtig zu Werke gehen, da schon sehr geringe Änderungen in der Reaktion großen Einfluß auf die Aktivität der Katalase haben. Steche und Waentig fanden speziell an Blut-, Leber- und Fettkatalase, daß bei 0° Neutralisation bis zum Farbenumschlag des Phenolphthaleins stets eine Aktivitätszunahme, höherer Alkaligehalt stets eine Abnahme, und Säurezusatz in schon sehr viel geringeren Mengen eine starke Schwächung der Fermentaktivität hervorruft.

Näheres über die Bedeutung des Schüttelns, den Einfluß des Alters, und vor allen Dingen über die Unvollständigkeit der Extraktion soll erst im kinetischen Teile gegeben werden.

Anfänglich wurden die Untersuchungen nur an Insekten ausgeführt. Als dann aber die Versuche auch auf Würmer, Schnecken, Echinodermen usw. ausgedehnt wurden, zeigte es sich, daß es nötig war, das Trockengewicht der betreffenden Organe und Tiere festzustellen, um Fehler, die durch den verschiedenen Wassergehalt, besonders bei Land- und Wassertieren, bedingt waren, auszuschalten. Es wurden zu diesem Zwecke

Tabelle II.

Katalasegehalt ganzer Tiere.

Name		1:1000	Auf Trockengewicht
Coelenterata:			
Actinia equina	Min.	702	3944
	Max.	3343	13412
Actinoloba dianthus		1016	5921
Hydra viridis		3155	—
Echinodermata:			
Strongylocentrotus-Darm	Min.	232025	1041000
	Max.	1093188	5382511
Asterias rubens-Darm	Min.	132250	470810
	Max.	216400	717982
Cucumaria planci-Darm	Min.	13562	138040
	Max.	45288	206606
Vermes:			
Planaria polychroa		41720	205525
Ascaris megaloc	Min.	756	5246
	Max.	3944	25677
Hirudo medic.	Min.	1506	14580
	Max.	3321	24574
Spirographis Spall.		6234	32209
Lumbricus terr.	Min.	36644	177420
	Max.	113719	443868
Crustaceen:			
Daphnia magna		—	42762
Cyclops		10300	34540
Asellus aquaticus		310	1619
Oniscus murarius		885	2727
Gammarus pulex		588	—
Potamobius astac.,	Leber	2565	10663
Pagurus Prideauxii,	„	1288	5966
Carcinus maenas,	„	1825	7585
Myriapoda:			
Julus unilineatus		6122	14452
Lithobius forficatus		53962	172622
Insecta: Apterygota:			
Lepisma saccharina L.		21925	—
Archiptera:			
Libellula depressa Larv. L.		6500	—
Aeschna grandis Larv. L.		7373	36741
Sympetrum sanguin. L.		7513	—
Orthoptera:			
Periplaneta or., Durchschnitt		1731	5360
Forficula auricul.,	„	27050	121029
Dixippus moros.,	„	62538	—

Name		1:1000	Auf Trockengewicht
Locusta viridissima		22269	—
Decticus verrucivorus		27437	—
Platycleis brachyptera		12100	—
Stenobothrus dorsatus		19300	—
Oedipoda mineata		57960	151190
Liogryllus campestris		27732	—
Neuroptera:			
Myrmeleon formic., Larv.		49365	132130
Panorpa communis, Imag.		9713	—
Chrysopa perla, Imag.		7387	—
Lepidoptera:			
Hyponomeuta evonymella, Imag.		27925	—
Zygaena trifolii, Imag.		8666	25115
Rhynchota:			
Notonecta glauca		1851	7400
Nepa cinerea		3983	17468
Pyrrhocoris apterus, Larv.		714	—
Syromastes marginalis		391	—
Arachnoidea:			
Tegeneria domestica		39850	—
Epeira diadema		42325	—
Mollusca: Lamellibranchier:			
Mytilus edulis		3014	10659
Anodonta		5616	30599
Gastropoden:			
Nassa reticulata		9209	20685
Murex brandaris	Min.	531	1698
	Max.	4837	14603
Tritonium nodiferum		626	2243
Planorbis corn.		2356	9801
Limnaea stag.	Min.	972	5580
	Max.	8194	44973
	Durchschn.	2497	13404
Paludina vivipara		1869	12610
Limax agrest., mittl. Tiere		57713	238200
Helix pomatia	Min.	5575	31601
	Max.	16983	76381
	Durchschn.	10108	45675
Helix hortensis		38500	148800
Arion empiricorum, alte Tiere		34863	243970

die ganzen Tiere und deren Organe mittels eines Wiegemessers auf einem Wiegebrette fein zerkleinert, gut durchmischt und in zwei Hälften geteilt. Die eine Portion wurde im Trockenschrank bei 100° zur Trockengewichtsbestimmung angesetzt, die andere auf ihren Katalasegehalt hin untersucht. Die so gewählte Versuchsanordnung hat sich ganz gut bewährt. Es ergab sich, daß die auf das Trockengewicht berechneten *K*-Werte fast immer eine bessere Übereinstimmung zeigten als die nur auf eine Verdünnung von 1 : 1000 bezogenen. Leider war es nicht immer möglich, das Trockengewicht zu bestimmen, da oft die dazu nötige größere Materialmenge nicht zu beschaffen war.

Außer den Protozoen sind von den niederen Organismen ganze Tiere und deren Organe aus fast allen Gruppen untersucht worden. Es konnten selbstverständlich nur größere Arten und von diesen nur solche, die leichter zu beschaffen waren, zur Untersuchung gelangen. Besonderer Wert wurde darauf gelegt, die Tiere während der verschiedensten Perioden und Entwicklungsstadien zu untersuchen.

In Tabelle II sind nun die Werte für die ganzen Tiere, nach Tierkreisen geordnet, aufgenommen; ausnahmsweise sind nur bei den Echinodermen der Darm und bei den Decapoden die Leber angeführt worden, da hier ganze Tiere nicht untersucht werden konnten. Es sind dabei immer die auf eine Verdünnung von 1 : 1000 berechneten Konstanten und die auf das Trockengewicht bezogenen, soweit dies möglich war, angegeben worden. Nach jeweiligen Umständen sind auch Maximal-, Minimal- und Durchschnittswerte vermerkt worden. Was den Katalasegehalt der Gewebe und ganzer Zyklen anbelangt, weise ich auf die betreffenden Tabellen hin.

II. Kapitel.

Biologischer Teil.

a) Einfluß der Lebensweise auf den Katalasegehalt der ganzen Tiere (vgl. Tabellen XXVIII bis XLVI).

Wie schon erwähnt, zeichnet sich die Katalase durch ihre ubiquitäre Verbreitung aus. Ihrem allgemeinen Vorkommen gemäß sollte man erwarten, daß sie eine wichtige Rolle bei den Lebensvorgängen spielt. Die relative Katalasemenge in

den verschiedenen Arten ist nun, wie schon alle früheren Untersuchungen zeigen, sehr wechselnd, dagegen für die einzelnen Individuen derselben Spezies bei gleichen Perioden ziemlich konstant. Gewisse individuelle Unterschiede treten selbstverständlich immer auf.

Viele Forscher nehmen nun an, daß die Katalase mit der Intensität der Atmung in Zusammenhang zu bringen sei. Für die Pflanzen, speziell für die Kartoffel, glaubt Applemann[1]) gefunden zu haben, daß die katalytische Kraft mit der Respirationstätigkeit in einem bestimmten Verhältnisse stehe, da beide unter gleichen Bedingungen abnehmen. Zaleski und Rosenberg[2]) zeigen aber, daß sich bei den Pflanzen kein direkter Zusammenhang zwischen der Atmungsenergie beobachten läßt.

Für den tierischen Organismus nehmen besonders Jolles und Lesser einen Zusammenhang zwischen der Katalase und den Oxydationsprozessen an. Jolles weist auf einen Unterschied zwischen Wasser- und Landtieren hin. Lesser sucht an der Hand von mehreren Tabellen zu zeigen, daß mit absteigendem Sauerstoffverbrauch ein Sinken der Katalasemenge parallel geht. Er macht aber schon darauf aufmerksam, daß beträchtliche Ausnahmen existieren, daß die Vögel mit ihrer großen Sauerstoffaufnahme völlig aus dieser Reihe herausfallen, und daß der Regenwurm einen beträchtlich höheren Gehalt als der Maikäfer zeigt, obwohl dieser etwa das zehnfache an Sauerstoff aufnimmt. Und so schreibt er dem Sauerstoffbedarf Einfluß auf den Katalasegehalt zu, hält ihn aber nicht für den einzigen Faktor, der die Katalaseproduktion beherrscht. Daneben solle in Betracht kommen, welche Stoffe, ob Eiweißkörper, Kohlenhydrate oder Fette der Oxydation unterliegen. Als zweiten wichtigen Faktor führt er dann an, daß die Katalase durch zahlreiche andere Fermente, die mit den biochemischen Oxydationen in Verbindung stehen, wie z. B. durch die Peroxydase, gewissermaßen funktionell ersetzt werden könne, daß also kein prinzipieller Unterschied zwischen Peroxydasen und der Katalase bestehen soll. Demgegenüber muß aber betont werden, daß für eine oxydierende Wirkung der Katalase selbst nicht die geringsten experimentellen Anhaltspunkte zu finden sind.

[1]) Applemann, Bot. Gaz, **1910**, 182; **1911**, 306.

[2]) Zaleski und Rosenberg, Biochem. Zeitschr. **33**, 1911.

Ich habe nun versucht, die Angaben Lessers über den Zusammenhang zwischen Katalase und Sauerstoffverbrauch weiter zu prüfen. Leider ist dies nur bis zu einem ganz geringen Grade möglich, da über den Sauerstoffbedarf der Tiere in der Literatur nur recht spärliche Angaben existieren. In der folgenden Tabelle III habe ich diejenigen Organismen, über deren Sauerstoffverbrauch Angaben gefunden werden konnten, zwecks leichterer Übersicht nach Tierkreisen geordnet, zusammengestellt, wobei für Tiere, deren Katalasezahl für den ganzen Körper nicht ermittelt werden konnte, wie bei den Echinodermen und Decapoden, der Katalasegehalt des jeweilig höchsten Organs angegeben werden soll. Um nun einen größeren Überblick über die Respirationsverhältnisse zu gewinnen, soll für diejenigen Organismen, deren Kohlensäureproduktion nur bekannt ist, diese an Stelle des Sauerstoffverbrauchs angeführt werden [1]).

Tabelle III.

Organismen		Gewebeart	1:1000	Auf Trockengewicht	Sauerstoffverbrauch pro kg Tier u. Stunde in ccm	Ausgeschiedene CO_2 pro kg Tier u. Stunde in g
Asterias rubens-Darm:	Min.	Darm	132 250	470 810	32,0 (Fürth) [2])	—
	Max.	„	216 400	717 982		
Ascaris megalocephala:	Min.	Ganzes Tier	756	5 246	Anaerobier	—
	Max.	„ „	3 944	25 677		
Hirudo medicin. . .	Min.	„ „	1 506	14 580	22,98 (Fürth)	—
	Max.	„ „	3 321	24 574		
Lumbricus terrestr. .	Min.	„ „	36 644	177 420	71,0	0,108 (Regnault) [3])
	Max.	„ „	113 719	443 868		
Gammarus pulex.		„ „	588	—	132,0 (Fürth)	—
Potamobius astac.		Leber	2 563	10 663	38,0 (Fürth)	—
Melolontha vulgaris . . .		Engerlinge	2 400	12 840	—	0,987 (Pott)
Rhizotrogus solstitialis . .		Imag.	37 865	103 371	671,9 (Maikäfer) (Lesser)	—
Mytilus edulis		Ganzes Tier	3 014	10 659	12,2 (Fürth)	—
Paludina vivipara		„ „	1 421	9 100	—	0,278 (Pott) [4])
Planorbis corneus		„ „	2 356	9 801	—	0,117 (Pott)
Limnaea stagnalis .	Min.	„ „	1 576	10 161	—	0,138 (Pott)
	Max.	„ „	8 194	44 973	—	
Helix pomatia . . .	Min.	„ „	5 575	31 601	—	0,120 (Pott)
	Max.	„ „	16 983	76 381	—	

[1]) Hermann, Lehrb. d. Physiol. **1905**, 532 u. 553.
[2]) Fürth, Lehrb. d. vergl. Physiologie.
[3]) Regnault u. Reiset, Ann. de Chimie, 3. Ser., **26**, 483 bis 490, 1849.
[4]) Pott, Die landwirtschaftl. Versuchsstationen **18**, 1875.

Während nun verschiedene Punkte, wie die Unterschiede im Katalasegehalt bei den Wasser- und Landschnecken und besonders das Verhalten der Anaerobier, die so außerordentlich wenig aktiv sind, darauf hinweisen, daß ein Zusammenhang zwischen dem Katalasegehalt und der Respiration besteht, läßt sich bei einem weiter durchgeführten Vergleiche keine direkte Parallelität zwischen dem Gasaustausch und dem Katalasereichtum konstatieren. Zu den Ausnahmen, die schon Lesser feststellen konnte, gesellen sich noch eine Reihe anderer. Vor allen Dingen fallen die Echinodermen auf, die, obwohl sie nur sehr wenig Sauerstoff aufnehmen, so außerordentlich katalasereich sind. Ebensowenig läßt sich ein allgemeiner Unterschied zwischen Wasser- und Landtieren konstatieren. Unter den Würmern z. B. reichen die im Wasser lebenden Planarien vollkommen an den Katalasegehalt von Lumbricus heran. Wohl zeigen einige spezifische Wasserinsekten, wie z. B. die Libellenlarven, sehr geringe katalytische Kraft, aber auch auf dem Lande lebende, wie Periplaneta orientalis, Maikäferlarven, Leptura rubra Imag., Coccinellenlarven usw., haben durchaus keine höheren Konstanten. Gerade Periplaneta, deren CO_2-Abgabe nach Bütschli[1]) relativ zu ihrem Körpergewicht größer ist als diejenige des Menschen, zeigt so auffallend niedrige Werte.

Und auch gegen das Argument, daß die anaerobisch lebenden Organismen so wenig katalytisch wirksam sind, lassen sich Einwände machen, da es viele Aerobier gibt, wie Asseln, Pyrrhocoris apterus, Periplaneta usw., die noch viel weniger Katalase als z. B. Ascaris enthalten. Ein direkter Zusammenhang des Katalasereichtums mit der Intensität der Atmung läßt sich also nicht konstatieren.

Aber auch andere Faktoren, wie die Lokomotionsweise und die Art der aufgenommenen Nahrung, lassen keinen eindeutigen Einfluß auf den Katalasegehalt erkennen.

In Tabelle IV sind einige charakteristische Beispiele dafür zusammengestellt. Immerhin lag doch die Vermutung nahe, daß die Lokomotionsweise mit regulierend auf den Fermentgehalt einwirken konnte, da das Blut fliegender Formen, wie der Vögel und die fliegenden Imagines der Lepidopteren, so

---

[1]) Bütschli, Arch. f. Anat. 1874, 348.

Tabelle IV.

Zum Vergleich des Katalasegehaltes mit der Lokomotionsweise und Nahrungsaufnahme.

Tierkreis	Schlamm-, Erde-, resp. Detritusfresser				Pflanzenfresser				Fleischfresser (Räuber)			
	Name	Lokomotionsweise	1:1000	Auf Trockengewicht	Name	Lokomotionsweise	1:1000	Auf Trockengewicht	Name	Lokomotionsweise	1:1000	Auf Trockengewicht
Coelenterata	—	—	—	—	—	—	—	—	Actinia equina .	festsitz.	3343	13412
	—	—	—	—	—	—	—	—	Hydra viridis .	„	3155	—
Echinodermata	Strongylocentrotus Min.	träge	232025	1041000	—	—	—	—	Asterias rubens Min.	träge	132250	470810
	Strongylocentrotus Max.	—	1093188	5382511	—	—	—	—	Asterias rubens Max.	—	216400	717982
	Cucumaria planci Min.	träge	13562	138040	—	—	—	—	—	—	—	—
	Cucumaria planci Max.	—	45288	206606	—	—	—	—	—	—	—	—
Vermes	Lumbricus terr. Min.	träge	36644	177420	—	—	—	—	Planaria polychroa	träge	41720	205525
	Lumbricus terr. Max.	—	113719	443868	—	—	—	—				
Arthropoda	Cyclops	schnell	10300	34540	—	—	—	—	Potamobius astacus, Leber (frißt auch Pflanzen)	—	2563	10663
	Julius unil. . .	träge	6122	14452	—	—	—	—	Lithobius forfic.	schnell	53962	172622
	—	—	—	—	Dixippus moros.	träge	62886	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	Stenobothrus dorsat. . . .	schnell	19300	—	Locusta viridiss.	schnell	22269	—
	—	—	—	—	Chrysomela fast. Min.	träge	28805	89207	Aeschna gr., Larv.	—	7373	36741
	Geotrupes . . .	—	51694	—	Chrysomela fast. Max.	—	91050	281840	Carabus nemor. Min.	schnell	13544	49413
	—	—	—	—	Coccinella sept. Imag.	—	1989	2627	Carabus nemor. Max.	—	50160	137610
	—	—	—	—					—	—	—	—
Mollusa	Mytilus ed. . .	träge	3014	10659	—	—	—	—	—	—	—	—
	Anodonta . . .	„	5616	30599	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	Wasserschnecken (Durchschnitt)	träge	1576	10101	—	—	—	—
	—	—	—	—	Landschnecken (Durchschnitt)	„	38500	148800	—	—	—	—

außerordentlich wenig aktiv sind. Der Flug stellt ja bekanntlich sehr hohe Anforderungen an den Organismus, und es war nicht ausgeschlossen, daß die diesen höheren Anforderungen parallel gehenden lebhafteren Oxydationsvorgänge Einfluß auf die Wasserstoffsuperoxyd zersetzende Fähigkeit der Lebewesen haben konnten. Ein weiter gehender Vergleich aber lehrt, daß sich kein durchgehender Unterschied zwischen trägen und schnell beweglichen Organismen konstatieren läßt. Wie Tabelle IV zeigt, existieren in dieser Hinsicht genau solche Unregelmäßigkeiten, wie wir sie schon bei der Annahme eines Zusammenhangs der Katalase mit der Intensität der Respiration finden konnten. Wohl sind einige träge Tiergruppen, wie wir es im Gegensatz zu den fliegenden Tieren erwarten müssen, außerordentlich aktiv. Die Echinodermen, die Planarien, Lumbricus terrestris, Dixippus morosus, auch die Landschnecken enthalten bei ihrer trägen Lebensweise bedeutende Mengen von Katalase. Es existieren aber auch einige träge Organismen, wie Mytilus edulis und die festsitzenden Aktinien und Hydren, die recht wenig katalytisch wirksam sind. Andererseits enthalten auch schnell bewegliche Tiere, wie Daphnia, Cyclops, doch einen beträchtlichen Grad von Katalase. Einen auffälligen Unterschied in bezug auf die Lokomotionsweise zeigt der träge Julus unilineatus und der flinke Lithobius forficatus. Ersterer ist sehr katalasearm, letzterer dagegen sehr aktiv. Es muß aber dabei hervorgehoben werden, daß sie auch ganz verschiedene Kost genießen, und daß dadurch auch der Unterschied bedingt sein kann. Julus z. B. ist ein Moderfresser, Lithobius dagegen ein gefährlicher Räuber.

Vergleichen wir nun die Organismen auf die Art der aufgenommenen Nahrung hin, so erweckt es anfangs den Anschein, als ob besonders die Schlamm- und Erdefresser hoch katalytisch wirksam wären. Strongylocentrotus und Lumbricus enthalten als schlamm- und erdefressende Organismen außerordentlich hohe Mengen von Katalase. Aber durchaus nicht alle Tiere, die eine derartige Kost genießen, sind so aktiv. Mytilus edulis, Anodonta z. B. sind durch einen geringen Fermentgehalt ausgezeichnet. Auch sehr gefräßige Räuber, wie Asterias rubens, Lithobius, die Carabiden sind sehr katalasereich. Aber auch hier existieren Ausnahmen, die Aeschna-Larven z. B. geben sehr

niedrige Konstanten. Daß auch nicht etwa ein Unterschied zwischen Pflanzenfressern und den carnivoren Tieren besteht, zeigen besonders unter den Orthopteren die Saltatorier, die eine gute Übereinstimmung erkennen lassen, obwohl die einen (Locustiden) Räuber, die anderen (Acridier) Pflanzenfresser sind. Auch die Landschnecken sind ja als Pflanzenfresser sehr katalasereich. Ein durchgehender Unterschied läßt sich also auch nicht in bezug auf die Art der aufgenommenen Nahrung nachweisen.

Wie die Betrachtungen also lehren, ist es nicht möglich, irgendwelche durchgehenden gesetzmäßigen Beziehungen zwischen der Lebensweise und dem Katalasegehalt aufzustellen. Die Katalase unterliegt wahrscheinlich einer ganzen Reihe von Einflüssen, die aufeinander kompensatorisch wirken, so daß wir kein einheitliches Bild erhalten können. Ein sehr wichtiger Punkt ist z. B. folgender: Stellen wir uns auf den oft vertretenen Standpunkt, daß die Katalase bestimmt sei, im Überschuß vorhandene labile Peroxyde zu zersetzen, um die schädigende Wirkung übermäßigen, nascierenden Sauerstoffs auf den Organismus aufzuheben, so kann sich die Beziehung dieser beiden Faktoren sehr wechselnd gestalten. Enthält eine Tierform sehr wenig Peroxyde, produziert also wenig O, so wird auch wenig Katalase nötig sein. Wird dagegen viel O erzeugt, so kann entweder viel Katalase da sein, um dessen Wirkung in mäßigen Grenzen zu halten, oder es kann wenig Katalase vorhanden sein, um, wie z. B. bei starken Fliegern, eine intensive Oxydation zu ermöglichen. Zur richtigen Bewertung dieser Verhältnisse müßte man also das Verhältnis von Peroxyden (resp. Peroxydasen, die ja sicher großenteils nur labile Peroxyde sind) kennen, ein Punkt, auf den besonders Dr. Ostwald hingewiesen hat. Die Versuche, solche vergleichende Messungen anzustellen, scheiterten daran, daß wir bisher noch kein Reagens besitzen, das die Wirkung einer Peroxydase quantitativ einwandfrei zu verfolgen gestattet.

Überblickt man die erhaltenen Werte im großen, so ist es interessant, daß man bis zu einem gewissen Grade ganz analog der Einteilung der Organismen nach ihrem morphologischen und anatomischen Bau auch gewisse Typen unterscheiden kann, die sich durch einen ganz charakteristischen

Katalasegehalt auszeichnen. Man kann gewissermaßen von einem Aktinien-, einem Echinodermen-Typus, von einem Typus der Entomostraca, der Asseln, der Decapoden, der Insekten, der Schnecken sprechen. Es macht dies fast den Eindruck, als ob analog den morphologischen Verhältnissen chemische Differenzierungen vorhanden seien. Wenn wir auch die Gründe noch nicht kennen, warum die einzelnen Organismen so verschiedene Mengen Katalase enthalten, so sind wir doch überzeugt, daß die im Innern der Tiere stattfindenden Stoffwechselvorgänge, die ja je nach den verschiedenen Tierspezies sehr verschiedenartig sind, in Zusammenhang mit dem Katalasegehalt zu bringen sind. Es sprechen hierfür besonders noch Beobachtungen, die zeigen, daß analog den Intensitätsschwankungen des Stoffwechsels auch Schwankungen des Katalasegehaltes auftreten. Und noch ein Umstand ist es, der hierbei in Betracht kommt, nämlich die Verteilung der Katalase in den Geweben.

Tabelle V.

Katalasegehalt der Organe der Decapoden.

Art der Organe	Potamobius astacus		Pagurus Prideauxii		Carcinus maenas	
	1 : 1000	Auf Trockengewicht	1 : 1000	Auf Trockengewicht	1 : 1000	Auf Trockengewicht
Lymphe	115	1 803	109	1709	108	1 677
Leber	2563	10 663	1288	5966	1825	7 588
Darm . . Min.	638	3 728	368	2186	551	2 788
Darm . . Max.	1023	4 928			7303	29 267
Geschlechtsorgane	1150	5 102	425	1847	550	1 832
Kiemen	261	2 218	930	2530	1639	7 638
Muskeln	274	1 486	413	1556	—	—
Herz	—	—	—	—	265	1 699

b) Verteilung der Katalase im Körper.

Wie für die ganzen Tiere, so gilt auch für deren Organe, daß die Quantität der Katalase je nach den verschiedenen Arten sehr verschieden ist. Auch innerhalb der einzelnen Gewebe desselben Organismus wechselt die Menge der Katalase ganz bedeutend; doch zeigt sich auch hier, daß der Fermentgehalt eines bestimmten Organes bei den verschiedenen Individuen der gleichen Spezies in gleichen Perioden durchweg im wesentlichen konstant ist. Gewisse individuelle Unterschiede treten selbstverständlich auch hier auf.

1. Katalasegehalt der Leber.

Von den Geweben der niederen Tiere ist die Leber immer am aktivsten. Das gilt sowohl für die Decapoden (Tabelle V) als auch für die Muscheln (Tabelle VI) und Schnecken (Tabelle VII). In zweiter Linie erst folgen Niere und Darm.

Tabelle VI.

Katalasegehalt der Organe der Muscheln.

Art des Gewebes	Mytilus edulis		Anodonta	
	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht
Lymphe	538	—	895	64854 (!)
Leber	—	—	22231	128060
Fuß: Min.	1650	7468	5775	29196
Max.	—	—	15995	87646
Mantel	876	—	1586	12025
Kiemen	2231	15569	1900	13294

Die relative Fermentmenge in den verschiedenen Gruppen ist ebenfalls sehr wechselnd. Sehr niedrige Werte besitzt die Decapodenleber, sehr hohe aber schon die Leber von Anodonta. Auch die Schneckenleber, wenigstens die der Landschnecken, ist sehr katalasereich.

Es zeigt sich auch hier bei den Schnecken ein Unterschied zwischen den Wasser- uud Landformen.

Ganz entsprechende Verhältnisse finden wir auch bei den Wirbeltieren. Die Untersuchungen lehren auch hier, daß die Leber mit einigen Ausnahmen am meisten von diesem Enzym enthält. Battelli und Stern, die ausgiebige Versuche über den Katalasegehalt verschiedener Wirbeltiergewebe anstellten, bemerken: die Anordnung der verschiedenen Gewebe nach ihrem Katalasegehalt ist verschieden bei den Tierspezies, meist kann man folgende aufstellen: Leber, Niere, Blut, Milz, Herz, Muskel, Gehirn. Die Leber ist fast immer am katalasereichsten; Ausnahmen bilden die Natter und das Kaninchen, deren Blut am aktivsten ist. Auch bei den Vögeln ist nach ihnen die Hauptmasse in der Leber, dann Niere enthalten.

Rosenbaum gibt die Reihenfolge: Leber, Pankreas, Milz, Fett, Muskel, Gehirn. Und noch viele andere Forscher wie Mendel und Loewenworth, die die Katalase im Schweineembryo untersuchten, Lesser usw. finden fast immer wieder, daß die Leber an erster Stelle steht.

Tabelle VII.

Katalasegehalt der Organe der Schnecken.

Art des Gewebes	Murex brandaris		Planorbis corneus		Limnaea stagnalis		Helix pomatia		Helix hortensis		Arion empiricor. jung		Arion empiricor. alt	
	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht
Lymphe	130	3779	1105	39219	200	5053	142	4034	137	3892	2	62	254	7767
Leber: Min. . . .	—	—	—	—	—	—	50591	228898	101775	294586	—	—	—	—
Max. . . .	—	—	—	—	—	—	172688	685270	118700	359270	—	—	—	—
Durchschn.	8090	21210	8813	46509	58378	297544	—	—	—	—	232513	949874	167675	662159
Niere: Min. . . .	—	—	—	—	—	—	22710	56629	75755	298031	—	—	—	—
Max. . . .	—	—	—	—	—	—	107050	463590	114406	314648	—	—	—	—
Durchschn.	—	—	—	—	16700	52270	—	—	—	—	213800	1371392	85175	449235
Darm: Min. . . .	—	—	—	—	—	—	41025	—	176675	638046	—	—	—	—
Max. . . .	—	—	—	—	—	—	124650	544799	235400	765778	—	—	—	—
Durchschn.	—	—	5831	20539	6888	24259	85725	393863	—	—	194875	1020288	90725	433700
Hautschlauch . . .	310	1076	1438	5843	976	4305	4004	19861	4153	19126	8750	61444	6620	39522
Zwitterdrüse:														
Min. . . .	—	—	2356	9801	—	—	6418	52520	—	—	—	—	—	—
Max. . . .	—	—	4198	22510	—	—	12875	83401	20688	109510	—	—	—	—
Durchschn.	—	—	—	—	12608	—	—	—	—	—	6013	38343	5590	41922
Eiweißdrüse . . .	—	—	—	—	2103	7743	1078	6515	5433	12314	—	—	7795	43498
Eileiter	—	—	—	—	—	—	2535	7888	—	—	—	—	—	—
Receptaculum . . .	—	—	—	—	—	—	6588	17859	—	—	—	—	—	—
Liebespfeilsack + fingerförm. Drüsen	—	—	—	—	—	—	1581	6689	—	—	—	—	—	—
Penis	—	—	—	—	—	—	2772	—	—	—	—	—	—	—
Byssusdrüse . . .	6571	19540	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Obwohl die physiologische Bedeutung der Leber der Wirbellosen von der der Vertebraten sehr verschieden ist — fehlen doch gerade bei der Molusken- und Arthropodenleber die für die Wirbeltiere so charakteristischen Bestandteile, nämlich Gallensäuren und Gallenfarbstoffe —, so zeigten doch die Untersuchungen über den Reichtum der verschiedenen Gewebe übereinstimmend für beide Gruppen, daß die Leber fast immer am aktivsten ist. Daß die Stoffwechselvorgänge hierbei eine wichtige Rolle spielen, ist sehr wahrscheinlich. Dafür sprechen auch die Befunde von Blumenthal und Brahn, die bei Funktionsstörung der Leber durch Sarcome und Carcinome eine bedeutend herabgesetzte Katalysierfähigkeit beobachten konnten; selbst die gesunden Teile der mit Krebsknoten durchsetzten Leber zeigten einen auffallend niedrigen Katalasegehalt. Eine Antifermentwirkung kommt hierbei nicht in Betracht, wie die Mischungsversuche von normaler Leber und Carcinomknoten ergaben. Leider sind die Vorgänge des intermediären Stoffwechsels in der Leber recht unvollständig bekannt. Welche von den Prozessen in der Mitteldarmdrüse (= Leber) der Wirbellosen und in der Leber der Vertebraten mit der Katalase in Zusammenhang zu bringen sind, läßt sich noch nicht sagen. Als gemeinsame Funktionen haben ja die Mitteldarmdrüse der niederen Organismen und die Leber der Wirbeltiere wahrscheinlich den oxydativen Abbau der hydrolytischen Spaltprodukte zu Endprodukten des Stoffwechsels und die Synthese der Reservestoffe wie Fett, Glykogen, Eiweißkörper. Auf den Zusammenhang zwischen Fetten, Glykogen und dem Katalasegehalt soll aber erst später nach der Besprechung der Änderung der Katalasemenge in den verschiedenen Lebensperioden der Tiere eingegangen werden. Einstweilen sei nur darauf hingewiesen, da man schon hier daran denken könnte, daß das gleichartige Verhalten der beiden Organsysteme in bezug auf die Katalase mit den gemeinsamen Funktionen in Zusammenhang zu bringen sei.

2. Katalasegehalt der Niere.

Wie die Leber, so zeigt auch die Niere der Schnecken in bezug auf die Katalase mit der der Wirbeltiere eine auffällige Übereinstimmung. In beiden Gruppen entwickelte sie eine

ziemlich große katalytische Wirksamkeit. Wahrscheinlich ist es, daß auch hier die funktionellen Vorgänge Einfluß auf die hohe Aktivität haben. Es läßt sich aber bei dem lückenhaften und unsicheren Wissen über die vitalen Vorgänge in der Niere nichts Bestimmtes aussagen. Man muß einstweilen die auffällige Tatsache, daß die Niere der Schnecken z. B. und die der Säugetiere in bezug auf die Katalase sich sehr ähnlich verhalten, hinnehmen.

3. Katalasegehalt des Darmes.

Während die Leber durchschnittlich an erster Stelle steht, nimmt der Darm in der Reihenfolge der nach ihrem Katalasegehalt geordneten Gewebe eine sehr wechselnde Stellung ein. Den höchsten Wert, der überhaupt bei diesen Untersuchungen erhalten wurde, repräsentiert der Strongylocentrotus-Darm im Mai, etwas weniger aktiv ist der Asterias-, noch weniger der Cucumaria-Darm (Tabelle VIII). Diese außerordentlich große katalytische Energie ist sehr auffällig, aber einstweilen unerklärlich.

Tabelle VIII.

Katalasegehalt der Organe der Echinodermata.

Art des Gewebes	Strongylocentrotus		Asterias rubens		Cucumaria planci	
	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht
Leibeshöhlenfl. . .	70	1756	33	588	46	1160
Darm: Min. . . .	232025	1041000	132250	470810	13562	138040
Max. . . .	1093188	5382511	216400	717982	45288	206606
Ovar.	22451	88288	11815	35730	—	—
Hoden: Min. . . .	—	—	—	—	29475	203560
Max. . . .	—	—	—	—	40338	278577
Hautschlauch . . .	—	—	—	—	1785	9302
Wasserlungen . . .	—	—	—	—	15150	127260

Sehr schwankend ist der Katalasegehalt bei den einzelnen Vertretern der Würmer. Der Ascaris- und Hirudodarm haben eine sehr geringe Aktivität. Besonders letzterer zeigt noch große individuelle Schwankungen, die aber sicher mit abhängig von der Katalase des gesaugten Blutes sind. Es entspricht dies auch vollkommen den Verhältnissen, wie sie von Pütter[1])

[1]) Pütter, Zeitschr. f. allgem. Physiol. 6 u. 7, 217, 1907; 16, 1908.

im Verdauungstraktus des Blutegels festgestellt worden sind. Das gesaugte Blut, das meist ungeronnen und nicht verfault im Darme angetroffen wird, ist trotz eines Aufenthaltes von 2 bis 4 Monaten zum größten Teil nicht abgebaut; außer der Reduktion und der Eindickung hat es im Darme kaum chemische Veränderungen erlitten. Es wird dabei auch, wie ich feststellen konnte, die Katalase des gesaugten Blutes erhalten; erst allmählich, mit fortschreitender Verdauung verschwindet sie daraus.

Gute und sehr konstante Werte liefert der Spirographis-, sehr hohe der Lumbricusdarm (Tabelle IX). Vergleicht man den Grad der Ausnutzungsfähigkeit der Nahrung mit dem verschiedenen Katalasegehalt des Würmerdarmes, so erweckt es den Anschein, als ob ein gewisser Zusammenhang zwischen beiden bestehen möchte. Während Ascaris und Hirudo Nahrung geboten erhalten, die außerordentlich gut ausnutzbar ist, und dabei im Darm einen sehr geringen Katalasegehalt besitzen, ist besonders der Lumbricusdarm sehr aktiv und verdaut dabei Substanzen, deren Ausnutzungsmöglichkeit sehr gering ist. Dazu kommt noch, daß Hirudo so auffällig langsam verdaut, und daß dabei sicher nur sehr geringe chemische Umsetzungen vor sich gehen.

Der Darm der Decapoden (Tabelle V) gibt sehr niedrige Konstanten. Auffällig ist besonders ein nur einmal beobachteter sehr hoher Wert von Carcinus maenas (vgl. Tabelle V), wobei bemerkt werden muß, daß das Tier eben gefressen hatte und sich in vollem Verdauungszustande befand.

Tabelle IX.

Katalasegehalt der Organe der Würmer.

Art des Gewebes	Ascaris megaloceph.		Spirographis Spallanzanii		Hirudo medecinalis		Lumbricus terrestris	
	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht
Lymphe	165	4125	48605	148236	—	—	9238	89689
Darm: Min.	586	3417	13663	60410	526	3997	81075	363412
Max.	1080	10122			2501	18490	169725	571680
Geschlechtsorgane Min. .	454	8360	—	—	1325	5198	15181	68610
Geschlechtsorgane Max. .	13773	83070	—	—				
Hautschlauch	2239	9221	4825	25248	1017	9252	19375	83610
Kiemen	—	—	6110	31727	—	—	—	—

Was den Insektendarm (Tabelle X) anbelangt, so läßt sich durchweg eine gute Aktivität konstatieren. Bei den Locustiden und Acridiern ist er höher als alle anderen Gewebe. Bemerkenswert ist die gute Übereinstimmung bei beiden Arten, obwohl die einen Pflanzenfresser (Acridier), die anderen Räuber (Locustiden) sind. Unter den Coleopteren enthält der Darm der Calosomalarve, der der Geotrupes Imagines und der Oryctes-larve hohe, der der Oryctes Imagines noch größere Katalasemengen. Werte von ungefähr gleicher Höhe wie die Imagines des Nashornkäfers ergeben auch die Larven von Tenebrio molitor. Wahrscheinlich ist es, daß auch hier, wie schon früher bei Carcinus maenas erwähnt wurde, die jeweiligen Verdauungszustände eine Rolle spielen, da der Katalasegehalt des Darmes oft sehr beträchtlichen Schwankungen unterliegt. Sehr wenig katalytisch wirkt der Darm der Tipula gigantea-Maden und der Raupen von Bombyx mori.

Wenden wir uns nun dem Darm der Schnecken zu. Wie bei der Leber und der Niere, so läßt sich auch hier ein Unterschied zwischen Wasser- und Landtieren konstatieren. Während der Darm von Planorbis corneus und Limnaea stagnalis eine geringere Aktivität entwickelt, finden wir bei Helix pomatia schon sehr hohe Werte; außerordentlich groß ist der Fermentgehalt bei Helix hortensis und Arion empiricorum sowohl bei jungen als auch bei ausgewachsenen Tieren (Tabelle VII).

Über den Katalasegehalt des Wirbeltierdarmes haben wir nur recht spärliche Angaben in der Literatur finden können. Nur Battelli und Stern und Dziersgowski haben in jüngster Zeit das Verdauungssystem der höheren Tiere auf die Katalase hin untersucht. Dziersgowski speziell gibt an, daß in der Magenschleimhaut des Menschen der größte Fermentgehalt enthalten sei, in zweiter Linie folge die Magenschleimhaut des Hundes, des Kaninchens und Meerschweinchens und zuletzt der Vögel. Nach meinen Untersuchungen ist die Wasserstoffsuperoxyd zersetzende Fähigkeit des Katzen-, Kaninchen-, Igel- und Mäusedarmes sehr gering. Der Darm der Vertebraten scheint nach diesen Stichproben also sehr wenig aktiv zu sein.

Es sind diese Befunde für die physiologische Bedeutung doch immerhin interessant. Da, wo der Darm nur die Funktion

der hydrolytischen Spaltung und einfache Synthesen ausübt, wo also besonders die oxydativen Spaltungsprozesse und die Fähigkeit, höhere Eiweißstoffe aufzubauen, fehlt, wie bei den Wirbeltieren, enthält er nur wenig Katalase, während er dort, wo er sich an der Assimilation der Nahrung sehr aktiv beteiligt, und wo nachgewiesenermaßen oft lebhaftere Oxydationsvorgänge vor sich gehen, wie bei vielen niederen Tieren, sich oft durch einen außerordentlich hohen Fermentgehalt auszeichnet. Auf die besonderen Verhältnisse des Ascaris- und Hirudodarmes wurde ja schon oben aufmerksam gemacht. Bemerkenswert ist besonders auch noch, daß da, wo der Darm ausgesprochene Leberfunktion mit ausübt, wo er also an Stelle oder zugleich mit der Leber den Abbau der hydrolytischen Spaltprodukte und die Synthese der Reservestoffe mit besorgt, wie bei den Echinodermen, Lumbricus terrestris, Mollusken und Insekten, außerordentlich katalasereich ist.

4. Katalasegehalt des Fettgewebes.

Das Fettgewebe der Vertebraten ist auf die Katalase hin schon häufig untersucht worden [Bach (1905), Euler (1906), Battelli und Stern, Liebermann, Steche und Waentig (1912)]. Alle stimmen darin überein, daß das Fettgewebe Extrakte von guter Aktivität liefert.

Über den Katalasegehalt des Fettgewebes der niederen Tiere ist bisher noch nichts bekannt. Es ist ja auch ziemlich schwierig, davon die zur Untersuchung nötigen Mengen zu erhalten. Als besonders geeignet erwiesen sich die Insekten, speziell die Larven und Imagines von Oryctes nasicornis, deren Fettgewebe sich als außerordentlich kräftig katalytisch wirksam erwies (Tabelle X). Wie hier, so konnte auch bei anderen Insekten nachgewiesen werden, daß der Katalasegehalt der Insekten zum großen Teil mit durch das Fettgewebe reguliert wird. Doch darüber möchte ich zusammenfassend erst später bei der Änderung der Katalase mit den verschiedenen Lebensperioden berichten.

5. Katalase der Lymphe.

Die Körperflüssigkeiten der niederen Tiere sind im großen und ganzen recht wenig aktiv, wie schon die Leibeshöhlenflüssigkeit der Echinodermata und die von Ascaris zeigt. Da

die Katalase durchweg an die morphologischen Elemente gebunden sein soll, und da besonders die Perivisceralflüssigkeit der Seeigel und Holothurien keine nennenswerten organischen Substanzen und keine verdauenden Enzyme enthält, so ist dieses Verhalten an sich schon erklärlich. Im direkten Gegensatz hierzu steht die Leibeshöhlenflüssigkeit von Spirographis, die eine außerordentlich große katalytische Energie entfaltet.

Tabelle X.

Katalasegehalt der Organe der Insekten.

Organismus	Katalasegehalt der Lymphe		Katalasegehalt des Darmes		Katalasegehalt anderer Gewebe	
	1:1000	auf Trock.-gewicht	1:1000	auf Trock.-gewicht	Art der Gewebe	1:1000
I. Archiptera:						
Aeschna gr., Larve . . .	220	—	—	—	—	—
II. Orthoptera:						
Periplaneta or.	415	—	—	—	—	—
Dixippus moros.	987	—	—	—	—	—
Decticus verruc.	563	—	44831	—	Ovar	2772
					Ovar mit Eier	1814
Locusta viridissima . . .	601	—	44613	—	Hoden	4147
					Ovar	4209
III. Diptera:						
Tipula gigant	—	—	6084	—	Hautschlauch	2091
IV. Coleoptera:						
Calosoma sycoph., Larve	2050	—	29913	—	Gewebe ohne Darm	13138
Dyticus marg., Imag. . .	13888	—	—	—	—	—
Hydrophilus pic., Imag. .	1081	—	—	—	—	—
Oryctes nasicor., Larve .	4453	43529	27869	—	Fettgewebe	73575
„ „ Imag. .	6121	—	49463	—	„	99044
Cetonia aurata, Larve . .	6262	—	—	—	—	—
Geotrupes silvat., Imag. .	3990	—	27604	—	—	—
Blaps mortis, Imag. . . .	1043	—	—	—	—	—
Tenebrio molitor, Larve .	—	—	45725	160970	Gewebe ohne Darm	50387
V. Lepidoptera:						
Pieris brass., Raupe . .	608	—	—	—	—	—
„ „ Puppe . .	748	—	—	—	—	—
Vanessa Jo., Raupe . . .	177	—	—	—	—	—
Bombyx mori	914	—	981	—	Gewebe ohne Darm	5006
	—	—	—	—	Spinndrüsen	778
Saturnia pavonia, Raupe	663	—	—	—	—	—
Leucoma salicis, Raupe .	937	—	—	—	—	—
Lymomtria dispar., Raupe	430	—	—	—	—	—
Lym. monacha, Raupe .	510	—	—	—	—	—
Harpyia vinula, Raupe .	219	—	—	—	—	—

Es handelt sich aber auch hierbei um eine zähe, dicke grünlichgraue Flüssigkeit, die sehr viel Trockensubstanz enthält. Sehr reich an Katalase ist besonders auch das rote Blut von

Lumbricus, dessen rote Farbe durch H_2O_2 in Gelb umschlägt. Auch das Blut von Arenicola soll nach Steche und Waentig sehr aktiv sein. Das gleiche Verhalten finden wir auch bei Planorbis, dessen rotes Blut — das Hämaglobin ist hier bekanntlich nicht an die Zellen gebunden, sondern gelöst in der Blutflüssigkeit —, auf das Trockengewicht berechnet, ziemlich hohe Werte ergibt, während das nicht rote Blut der anderen untersuchten Schnecken etwa 5 mal schwächer ist. Es erweckt hiernach den Eindruck, als ob ein Unterschied zwischen dem roten und dem farblosen Blut in bezug auf die Katalase bestehen möchte. Allerdings möchte ich noch bemerken, daß es bei Hirudo medicinalis schien, als ob hier das rote Blut keine höhere Aktivität entfaltete als das farblose. Leider gelang es nicht, genügend reine und ausreichende Mengen zu erhalten, und es war nur möglich, eine qualitative Messung damit auszuführen. Die anderen, schon erwähnten roten Blutsorten lassen aber immerhin ziemlich deutlich einen Unterschied von dem farblosen Blute erkennen. Daß die Ursache dafür nicht etwa in einem höheren Leukocytengehalt zu suchen ist, zeigt die Trockengewichtsbestimmung des Blutes von Planorbis, das sehr wenig organische Substanzen enthält. Wie dieses auffällige Verhalten zu erklären ist, ist schwer zu sagen. Einerseits könnte man daran denken, daß der rote Farbstoff an sich eine bedeutende katalytische Kraft besäße. Nun hat aber bereits Bergengrün die Beobachtung gemacht, daß das Hämoglobin keine katalytischen Eigenschaften zeigt, was Ville und Moitessier und Senter bestätigen können. Die Katalase ist zwar an die roten Blutkörperchen, aber nicht an das Hämoglobin gebunden. Eine derartige Annahme ist also nicht haltbar. Andererseits ist darauf schon hingewiesen, daß die Blutkatalase die Funktion habe, aus dem Hämoglobin Sauerstoff abzuspalten. Bereits Jolles macht 1904 darauf aufmerksam, allerdings, ohne irgendwelche experimentellen Beweise dafür zu bringen. Besonders aber ist es Ewald, der sich mit dieser Frage experimentell näher befaßte, und der bewiesen zu haben glaubte, daß die Katalase den Sauerstoff aus dem Hämoglobin an die Gewebe übermittelte. Gegen seine Beobachtungen und Deutungen sind aber, besonders von v. Fürth und Czylharz und von Dunker und Jodlbauer

sehr wesentliche Einwände gemacht. Eine Erklärung für die besondere Aktivität des hämoglobinhaltigen Blutes fehlt also noch.

Wie das nicht rote Blut der Schnecken, so ist auch die Lymphe der Decapoden recht wenig aktiv. Sehr arm an Katalase ist unter den Insekten, speziell Orthopteren, die Lymphe von Periplaneta orientalis, Dixippus morosus und Decticus verrucivorus. Bedeutend reicher aber zeigt sich die dickere Leibeshöhlenflüssigkeit der Coleopteren, während die klare Lymphe der Lepidopteren wieder recht wenig aktiv ist. Es macht hier fast den Eindruck, als ob die Zahl der Leukocyten hierbei mit in Betracht kommen möchte. Auffällig bleibt besonders der große Unterschied im Katalasegehalt der Lymphe bei zwei sehr nahe verwandten Coleopteren, Hydrophilus und Dyticus marginalis. Während das Blut des letzteren sich durch eine hohe Aktivität auszeichnet, ist bei Hydrophilus eher das Gegenteil der Fall. Schon W. Ostwald macht auf die hohe katalytische Energie der Dyticuslymphe aufmerksam. Wodurch diese Verschiedenheit bedingt sein könnte, läßt sich einstweilen nicht feststellen.

Zum Schluß möchte ich noch auf die Lymphe von Anodonta aufmerksam machen. Wie wir sahen, war das nicht hämoglobinhaltige Blut der niederen Tiere fast inaktiv. Ausnahmen davon machten nur die Coleopteren und Spirographis Spallanzanii. Doch ließen sich diese durch ihren höheren Leukocytengehalt erklären. Es ist ja schon mehrfach auf eine Parallelität zwischen Leukocytenzahl und Katalasegehalt hingewiesen worden.

Aus dieser Reihe fällt nun vollständig die Lymphe von Anodonta heraus, die, auf das Trockengewicht berechnet, von sehr hoher Aktivität ist. Daß hierfür nicht die Zahl der morphologischen Elemente in Betracht kommt, ist durch die sehr geringe Trockensubstanz erwiesen. Es muß aber betont werden, daß es außerordentlich schwierig ist, reine Lymphe von Anodonta zu erhalten. Man gewinnt sie ja auf folgende Art, indem man, nachdem man die Schale von oben angebrochen hat und das Wasser zum größten Teile abgetropft ist, das Herz fein herauspräpariert und es anschneidet. Mit Hilfe einer feinen Pipette können dann von jedem Tier mehrere

Tropfen gewonnen werden, die dann weiter untersucht werden. Bei einer derartig schwierigen Gewinnung ist es sehr leicht möglich, daß irgendwelche anderen Stoffe miterhalten werden, daß z. B. einerseits Wasser mit entnommen wurde, das das außerordentlich niedrige Trockengewicht erklären würde, andererseits kleine Mantelstücke, die für die relativ hohe Aktivität verantwortlich gemacht werden können, der Lymphe als Verunreinigungen beigemengt waren. Außerdem erhält man bei derartigen Untersuchungen nur so kleine Quantitäten, daß die Fehlerquellen sich hierbei recht störend bemerkbar machen.

Von den übrigen Organen ist wenig zu erwähnen, sie sind nur der Vollständigkeit halber mit aufgenommen. Hervorgehoben könnte noch werden, daß der Hautmuskelschlauch der Würmer und Mollusken durchweg sehr gering katalytisch wirksam ist, obwohl sich auch in ihm bei der Bewegung sicher lebhafte Stoffwechselprozesse abspielen.

c) Änderung der Katalase im Lebenszyklus.

a) Aktivierung im Sommer.

Auf eine Änderung der Katalase während der Lebensperioden der ausgewachsenen Tiere wurde besonderer Wert gelegt. Die Untersuchungen waren schon von Anfang an so gedacht, die Tiere immer und immer wieder zu den verschiedensten Jahreszeiten vorzunehmen. Es schwanken ja die Stoffwechselvorgänge zu den verschiedenen Zeiten sehr stark, und es sollte nun festgestellt werden, ob etwa den Intensitätsschwankungen des Stoffwechsels auch gesetzmäßige Änderungen des Katalasegehaltes parallel gingen, da sich von diesem Gesichtspunkte aus eventuell ein Aufschluß über die biologische Bedeutung dieses Fermentes erwarten ließ.

Irgendwelche Angaben, daß sich bei vielen Tieren z. B. ein Unterschied in der katalytischen Kraft während des Sommers und des Winters bemerkbar macht, sind uns aus der Literatur nicht bekannt.

In Tabelle XI sind nun die Werte in der günstigen und ungünstigen Jahreszeit von denjenigen Organismen zusammengestellt, die während besonders günstiger Lebensperioden eine Zunahme der Katalase zeigen.

Tabelle XI.

Änderung des Katalasegehaltes während des Winters und Sommers.

Organismus	Art des Gewebes	Datum	1 : 1000	Auf Trockengewicht	Trockengewicht %
Strongylocentrotus	Darm	13. I. 1913	232025	1041000	22,29
	„	22. V.	1093188	5382511	20,31
Asterias rubens . .	Darm	26. III. 1913	132250	470810	28,09
	„	11. VII.	216400	717982	30,14
Cucumaria planci .	Darm	17. I. 1913	13562	138040	12,38
	„	11. VII.	45288	206606	21,92
Lumbricus terrestr.	Darm	28. XI. 1912	81075	363412	22,31
	„	20. VI. 1913	126375	566450	22,31
	„	3. VII.	169725	571680	29,72
	„	10. VII.	431325	975497	38,88
	ganzes Tier	28. XI. 1912	53781	196470	26,75
	„ „	9. I. 1913	36644	177420	20,21
	„ „	3. VII.	94010	375070	25,06
	„ „	10. VII.	113719	443868	25,62
Helix pomatia . .	Leber	22. XI. 1912	50591	228815	22,11
	„	3. VI. 1913	172688	685270	25,20
im Zustand d. Trockenst.	„	15. VII.	29871	103146	28,96
	Niere	12. XII. 1912	22710	56629	40,18
	„	3. VI. 1913	107050	463590	25,61
„ „	„	15. VII.	15031	52282	28,75
	Darm	13. XII. 1913	41025	234696	17,48
	„	16. VI.	85725	393863	21,76
„ „	„	15. VII.	47762	228635	20,89
	ganze Tiere	12. XII. 1912	8613	46331	18,59
	„ „	3. VI.	10108	45675	22,13

Von den Organismen, die eine Aktivierung im Sommer erkennen lassen, sind zuerst die Echinodermata hervorzuheben. Wie die Tabelle zeigt, läßt sich hier ganz deutlich eine Zunahme der Aktivität des Darmes, sowohl bei Strongylocentrotus als auch bei Asterias rubens und Cucumaria planci wahrnehmen. Interessant ist es, daß Cohnheim[1]) für die Kohlenhydratverdauung bei Echinodermen etwas Ähnliches nachgewiesen hat. Er fand, daß das Invertin und die Diastase der Holothuriendärme im Winter nur sehr schwach wirksam war. Ein ähnliches Verhalten zeigt der Regenwurm. Der Darm enthält im Sommer ebenfalls bedeutend mehr Katalase als im Winter (siehe Tabelle XI), dabei läßt auch das ganze Tier eine Zunahme erkennen, die aber wahrscheinlich durch den Darm be-

[1]) Cohnheim, Zeitschr. f. physiol. Chem. **33**, 1901.

dingt ist, da der Hautschlauch und die Geschlechtsorgane fast keine höheren Konstanten geben. Die Tiere ließ ich, um Gewichtsfehler durch die im Darm enthaltene Erde zu vermeiden, längere Zeit hungern und untersuchte sie von Zeit zu Zeit. Mit zunehmender Reinheit steigen natürlich auch die Katalasewerte. Man muß bei der Beurteilung der so erhaltenen Werte sehr vorsichtig sein, da man ja nie genau weiß, ob die Erde ganz aus dem Darm ist oder nicht. Selbstverständlich wurde den Tieren Filtrierpapier gereicht, um ja größte Reinheit zu erzielen.

Das frappanteste Beispiel für eine Aktivierung im Sommer sind die Schnecken, speziell Helix pomatia. Sie wurden sowohl während des Winterschlafes als auch während ihrer größten Lebenstätigkeit untersucht. Besonders auffällig ist hierbei, daß nur die Organe, die bei den Stoffwechselvorgängen die Hauptrolle spielen, wie Leber, Niere, Darm, im Sommer wesentlich aktiver sind als im Winter, während die ganzen Tiere und die anderen Organe keinen wesentlichen Unterschied erkennen lassen. Daß die ganzen Tiere die zu erwartende Zunahme nicht zeigen, beruht wahrscheinlich darauf, daß diese Extrakte sich sehr schlecht filtrieren lassen. Die schleimigen Bestandteile des Hautschlauches verstopfen die Poren des Filters, und dabei geht sicher nur ein geringer Teil der Katalase bei der sehr langsamen Filtration in das Filtrat über. Interessant ist es nun, daß man auch im Sommer eine Aktivitätsabnahme hervorrufen kann, wenn man die Tiere im Trocknen und ohne Nahrung hält. Sie ziehen sich dann in ihr Gehäuse zurück und verfallen genau so wie im Winter in einen Zustand minimaler Lebenstätigkeit. Es ergaben sich dabei dieselben Katalasewerte wie im Winter.

Es scheint nun nach diesen Versuchen die Annahme berechtigt, daß mit den verschiedenen Intensitätsschwankungen des Stoffwechsels auch gesetzmäßige Schwankungen des Katalasegehaltes parallel gehen. Im Winter, wo die Stoffwechselvorgänge auf ein Minimum reduziert sind, ist auch der Katalasegehalt herabgesetzt, während im Sommer mit einer Steigerung dieser Prozesse auch eine Zunahme der Katalase verknüpft ist. Nun gehen ja dabei auch größere Oxydationsprozesse vor sich, und man könnte vermuten, daß damit die höhere Aktivität im

Zusammenhang zu bringen wäre. Daß dies aber weniger der Fall zu sein scheint, lehrt ein anderes interessantes Beispiel.

Es war natürlich wünschenswert, zu erfahren, ob die Wirbeltiere während des Winterschlafes und während des Sommers ähnliche Zustände in bezug auf die Katalase erkennen lassen, wie die Schnecken. Als geeignetes Objekt erwies sich in dieser Hinsicht der Igel. Wie man nun aus der Tabelle XII ersieht, zeigt sich bei ihm das umgekehrte Verhalten. Wir finden im

Tabelle XII.

Katalasegehalt der Organe des Igels.

Art der Gewebe	Während des Winterschlafes			Während des Sommers			Trocken-gewicht
	Datum	1 : 1000	Auf Trocken-gewicht	Datum	1 : 1000	Auf Trocken-gewicht	%
Blut . .	24. II. 13	—	—	28. VIII. 13	22588	105207	21,47
Leber . .	„	212980	856754	„	147450	510031	28,91
Niere . .	„	58200	201519	„	32020	139943	22,88
Darm . .	„	1197	4748	„	949	3764	25,21
Lunge . .	„	10194	44514	„	9575	41101	22,90
Herz . .	„	1342	5400	„	1442	4990	24,85
Bauchfell	„	13319	49584	„	—	—	—
Gehirn .	„	1690	7979	„	1718	8110	21,18
Hoden .	„	4934	28703	„	1975	11490	17,19
Galle . .	„	712	6384	„	307	2753	11,15

Winter, besonders in der Leber und Niere, eher eine höhere Aktivität als im Sommer. Die Oxydationsprozesse gehen aber sicher auch hier zurück, wenigstens ist der Sauerstoffverbrauch nach Regnault und Reiset[1]) bei einem nahen Verwandten des Igels, dem Murmeltier, während des Winterschlafes sehr gering. Eine Abhängigkeit der Katalase nur von den Oxydationsprozessen ist hiernach nicht anzunehmen, denn sowohl bei den Schnecken als auch beim Igel findet ein Sinken der Oxydationsprozesse statt, während der Katalasegehalt dagegen ein ganz entgegengesetztes Verhalten zeigt. Es existieren in der Literatur speziell über die Vorgänge in der Leber während des Winterschlafes und des Sommers sowohl bei den Schnecken als auch bei den Wirbeltieren nähere Angaben, die die Verschiedenheit in den Befunden vielleicht erklärlich erscheinen

[1]) Regnault und Reiset, Ann. de Chimie, 3. Ser. 26, 483, bis 490, 1849.

lassen. Young[1]) gibt an, daß 4 bis 5 Wochen nach Beginn des Winterschlafes das Glykogen aus der Schneckenleber vollkommen verschwunden sei, und auch zur Sommerszeit sollen nach übereinstimmenden Angaben von Barfurth und Young[2]) 2 bis 3 Wochen genügen, um das Glykogen zum Schwinden zu bringen. Im Gegensatz dazu teilen Weinland und Riehl[3]) mit, daß das Glykogen in der Leber bei einem Verwandten des Igels, dem Murmeltier, während der Dauer des Schlafes pro Kilogramm Körpergewicht kaum eine Änderung erfährt und daß dagegen bei jedem Aufwachen ca. 4 g Glykogen verbrannt werden und daß, da der anfängliche Glykogengehalt vor dem letzten Aufwachen wieder hergestellt ist, während der Ruhe eine Glykogenneubildung eintreten muß. Man sieht also hieraus, daß diese Vorgänge direkt entgegengesetzt verlaufen.

Vergleichen wir hiermit die erhaltenen Katalasewerte, so ergibt sich eine auffällige Beziehung zwischen dem Glykogengehalt und unserem Ferment. Der Glykogenhalt der Leber bei Helix pomatia sinkt während des Winterschlafes und entsprechend auch die Katalasemenge. Beim Igel dagegen — man kann wohl die Verhältnisse vom Murmeltier auf den Igel übertragen — kann man im Winter kaum eine Abnahme des Glykogens in der Leber nachweisen, ebenso ist dies mit der Katalase der Fall.

Etwas Ähnliches finden wir auch bei den Insektenpuppen. Auch hier tritt in einer Periode, in der der Organismus keine Nahrung aufnimmt, Kohlenhydratbildung auf, und entsprechend finden wir auch hier hohe Katalasewerte.

Ein weiteres analoges Beispiel konnte bei Ascaris bemerkt werden. Nach Weinland[4]) zeigte sich bei Ascaris während der Hungerperiode eine Verminderung des Glykogens, und entsprechend konnte Lesser nachweisen, daß nach 5 Hungertagen die Katalase um ein Drittel des ursprünglichen Wertes zurückgegangen war.

Ziehen wir hierbei noch in Betracht, daß die Leber der Wirbellosen und der Vertebraten sich in bezug auf die Katalase, wie schon oben erwähnt, so gleichmäßig verhält, daß sie durch-

[1]) Young, zit. Fürth, Lehrbuch der Physiologie.
[2]) Barfurth und Young, Arch. f. mikrosk. Anat. **28**, 331, 1885.
[3]) Weinland und Riehl, Zeitschr. f. Biolog. **50**, 1908.
[4]) Weinland, Zeitschr. f. Biol. **42**, 1901; **43**, 1901.

weg das katalasereichste Organ repräsentiert, und daß sie bei beiden Gruppen wenigstens die Glykogenfunktion gleichmäßig besitzt, so macht es den Eindruck, als ob ein Zusammenhang zwischen den Vorgängen bei der Glykogenumsetzung und der Katalase bestehen möchte.

Aber nicht alle Tiere lassen im Sommer eine Aktivierung erkennen. Wie die Untersuchungen lehren, konnte bei Spirographis, bei den Muscheln, bei Limnaea stagnalis kein Unterschied in der katalytischen Kraft während des Winters und Sommers festgestellt werden. Es muß aber betont werden, daß diese Organismen erst untersucht wurden, nachdem sie längere Zeit in den Becken der Aquarien zugebracht hatten. Die Tiere befanden sich also unter relativ günstigen Lebensbedingungen, sie bewegten sich und nahmen auch Nahrung auf. Die Echinodermata, Lumbricus, Helix pomatia wurden sofort, nachdem sie angekommen waren, untersucht. Das verschiedene Verhalten ließ sich somit zum Teil durch die Umstände erklären.

b) Änderung der Katalase mit der Entwicklung.

Wie auf eine Änderung des Katalasegehaltes während der verschiedenen günstigen und ungünstigen Lebensbedingungen, so wurde auch auf eine Änderung dieses Fermentes mit der Entwicklung besonderer Wert gelegt, da sich auch hier ev. ein Aufschluß über die biologische Bedeutung erwarten ließ. Untersuchungen über diesen Punkt sind schon bedeutend häufiger. Besonders Steche und Waentig[1]) haben an den Larven der Lepidopteren sehr interessante Befunde feststellen können. Es galt nun diese Versuche weiter auszudehnen.

Wie man aus den Tabellen XIV und XV sieht, ist der Fermentgehalt der jungen Tiere ein recht hoher. Besonders die jungen Schnecken von Arion empiricorum sind bedeutend aktiver als die ausgewachsenen. Auch Steche und Waentig machten an Sphinx ligustri die auffällige Beobachtung, daß die frisch aus dem Ei geschlüpften Räupchen einen recht erheblichen Vorrat an Katalase besaßen. Es war nun von Wichtigkeit zu erfahren, ob dieser schon aus dem unbefruchteten Ei stammt oder erst während der Entwicklung gebildet wird.

[1]) Siehe Fußnote 2 auf S. 7.

Tabelle XIII.

Katalasegehalt unreifer und reifer Eier.

Organismus	Unreife Eier		Reife Eier	
	1:1000	Auf Trocken-gewicht	1:1000	Auf Trocken-gewicht
Strongylocentrotus: Max.	23073	101119	Nach Steche u. Waentig sehr wenig aktiv	
Min.	14807	80300		
Asterias rubens	11815	35730	—	—
Ascaris megaloc.	13773	83070	454	8360
Astacus fluviatilis	—	—	206	—
Decticus verrucivorus . .	—	—	625	—
Vespa vulgaris	—	—	1685	—
Pieris brassicae	—	—	2532	—
Helix pomatia	—	—	161	5547
Schildkröte	3197	7117	342	659

Die Untersuchungen in dieser Hinsicht haben nun ganz auffällige Befunde ergeben. Die unreifen Eier sind, wie ich bei Schildkröten, Ascaris, Echinodermata (Tabelle XIII) feststellen konnte, gegenüber den reifen Eiern außerordentlich aktiv. Während der Reifeprozesse tritt eine allmähliche Abnahme in dem Katalasegehalt ein. Die reifen Eier selbst sind, wie die Beispiele von Ascaris, Astacus fluviatilis, Dixippus morosus, Decticus verrucivorus, Vespa vulgaris, Pieris brassicae, Smerinthus ocellatus, Limax agrestis, Helix pomatia, Schildkröte zeigen, sehr katalasearm.

Tabelle XIV.

Katalasegehalt während der Entwicklung von Limax agrestis.

	1:1000	Auf Trocken-gewicht
Eier kurz vor dem Schlüpfen .	263	—
Schnecken eben schlüpfend . .	7094	—
Schnecken von mittlerer Größe	51713	238200

Tabelle XV.

Katalasegehalt während der Entwicklung von Arion empiricorum.

	1:1000	Auf Trocken-gewicht	Trocken-gewicht %
Sehr junge Tiere, noch nicht ganz ausgefärbt	91775	517081	17,71
Mittlere Tiere	47475	273162	17,38
Alte Tiere	34863	243970	14,29

Eine wesentliche Aktivierung scheint mit der Befruchtung nicht verbunden zu sein. Wenigstens ließen Mischungsversuche von Sperma und Eiern bei Strongylocentrotus nach Versuchen von Steche und Waentig keine Zunahme erkennen. Auch Lyon und Terry erwähnen, daß die Katalase in den Seesternen und Seeigeleiern nach der Befruchtung eher abnimmt. In einer späteren Arbeit von Lyon dagegen sollen Eier von Toxopneustes und Arbacia, die im Seewasser gehalten wurden, nach der Befruchtung mehr Sauerstoff entwickeln als die unbefruchteten. Leider gelang es mir nur, unreife Echinodermeneier zu untersuchen, die ziemlich hoch aktiv waren, während die reifen und befruchteten Eier nach Steche und Waentig sehr gering katalytisch wirksam waren.

Auch bei Mischungsversuchen der Geschlechtszellen von Ranaarten konnten Steche und Waentig im Gegensatz zu Ostwald keine Aktivierung bemerken. Allerdings tritt gerade im letzteren Falle keine direkte Befruchtung ein.

Während der Entwicklung nun zeigen die Insekten- und Schneckeneier keine auffallende Änderung im Katalasegehalt; auch Lyon bestätigte diese für die Echinodermen. Erst im Moment des Schlüpfens nimmt die Katalase rapid zu und erreicht in kurzer Zeit ein Maximum.

Besonders gut konnte der Übergang des Embryos in das junge Tier bei Limax agrestis beobachtet werden. Die Eier, die direkt vor dem Schlüpfen standen, waren recht inaktiv (Tabelle XIV), während die eben schlüpfenden Tiere, die sofort in Chloroform abgetötet wurden, bedeutend stärker katalysierten. Leider wurde zu diesen Versuchen das Material völlig aufgebraucht. Erst an Arion empiricorum gelang es, den Entwicklungszyklus bei den Schnecken weiter zu verfolgen.

Die sehr jungen Tiere, die noch nicht ganz ausgefärbt waren, enthielten eine sehr große Katalasemenge (Tabelle XV). Von da an nahm sie ab, die Tiere von mittlerer Größe waren besonders in ihren Organen wie Leber, Darm wesentlich aktiver als die ausgewachsenen (Tabelle VII), um dann den charakteristischen Wert für die geschlechtsreifen Organismen zu erreichen.

Ähnliche Verhältnisse konnte ich auch bei den Insekten konstatieren (Tabelle XVI und XVII), speziell an Dixippus

morosus und Smerinthus ocellatus. Auch hier waren die reifen und befruchteten Eier sehr wenig aktiv; während der Entwicklung im Ei änderte sich die Katalasemenge nicht erheblich. Erst mit dem Ausschlüpfen der jungen Larven trat ein sehr hoher Fermentgehalt auf. Das gleiche Verhältnis fanden ja Steche und Waentig auch bei Sphinx ligustri.

Tabelle XVI.

Katalasegehalt während der Entwicklung von Dixippus morosus.

	1:1000
Eier eben abgelegt . . .	1934
„ 1 Woche alt	1657
„ 2 Wochen „	1643
„ 3 „ „	1658
„ 4 „ „	2408
Eben geschlüpfte Tiere .	61996
ca. 8 Tage ältere Tiere .	66210
„ 4 Wochen alte Tiere .	62886
Ausgewachsene Tiere . .	62538

Tabelle XVII.

Katalasegehalt während der Entwicklung von Smerinthus ocellatus.

	1:1000	Auf Trockengewicht	Trockengewicht %
Eier 1 Tag alt	5063	—	—
„ 2 Tage „	5044	—	—
„ 3 „ „	4263	—	—
„ 4 „ „	3231	—	—
„ 5 „ „	2863	—	—
„ 6 „ „	3894	—	—
„ 7 „ „	3750	—	—
„ 9 „ „	4425	—	—
Raupen eben schlüpfend . .	15338	—	—
„ 1 Tag alt mit Futter	13650	—	—
„ vor 2. Häutung . .	26013	108900	23,89
„ nach 2. „ . .	23119	142785	16,19
„ „ 3. „ . .	9363	66063	14,13
Eben „ 4. „ . .	7694	53943	14,26
Länger „ 4. „ . .	12535	86610	14,47
Kurz vor Verpuppung . . .	20923	140770	14,86
Puppen (alte)	58090	129310	43,90!
Imagines voll Eier	14360	45414	31,62

Bei den dotterreichen Eiern und Säugetieren scheinen nun die Verhältnisse insofern etwas anders zu sein, als hier während der Entwicklung eine höhere katalytische Energie erzielt wird, ohne allerdings während des Embryonallebens die für

die jeweiligen Arten charakteristischen Werte zu erreichen. Für die Hühnereier geben Winternitz und Rogers folgendes an: Frische Hühnereier haben eine schwache, wenn auch deutliche Wirkung, die unverändert monatelang erhalten bleibt. Die einzelnen Teile, wie Dotter und Eiweiß, haben keine wesentliche katalytische Wirkung. Das Keimzentrum bebrüteter und befruchteter Eier gewinnt rasch an katalytischer Wirkung; Dotter, Eiweiß, Amnionflüssigkeit, ebenso die unbefruchteten Eier zeigen nach 21tägiger Bebrütung keine Zunahme. Die katalytische Wirkung hat also ihren Ursprung in dem sich entwickelnden Keimzentrum. Leider fehlen hier die Angaben über die jungen Küken.

Tabelle XVIII (nach Battelli und Stern).

Katalasegehalt der Gewebe des sich entwickelnden Meerschweinchens.

Meerschweinchen	Leber	Blut	Niere	Milz	Lunge	Muskel	Gehirn
Embryo von 5 g .	350	—	30	—	—	—	12
„ „ 17 g .	450	—	70	230	—	15	12
„ „ 36 g .	780	390	110	290	—	19	12
Foetus	1200	405	150	300	180	24	16
Neugeborenes . .	1080	450	210	285	255	26	14
1 Tag altes . . .	1050	510	240	330	330	22	15
2 Tage „ . . .	2000	510	240	330	360	24	14
3 „ „ . . .	2700	450	300	300	375	24	15
5 „ „ . . .	4650	465	375	285	375	26	16
7 „ „ . . .	5400	480	410	285	360	24	16
Ausgewachsenes .	5800	490	480	350	260	34	20

Auch die Untersuchungen an den Säugetieren zeigen etwas Ähnliches. Nach Angaben von Battelli und Stern enthalten die neugeborenen Meerschweinchen (Tabelle XVIII) bedeutend weniger Katalase als die ausgewachsenen. Erst nach der Geburt nimmt die Katalase rapid zu und erreicht in wenigen Tagen die normale Menge. Der Katalasegehalt des fötalen Kaninchens ist, wie Lockemann und Thies berichten, ebenfalls geringer als der des mütterlichen Tieres; und zwar schwankt die fötale Katalasezahl meistens zwischen $^1/_3$ und $^2/_3$ des mütterlichen Tieres. Buxton und Schäffer geben ebenfalls an, daß die embryonalen Gewebe weniger Katalase enthalten als die ausgewachsenen. Mendel und Leavenworth dagegen wollen keinen Unterschied zwischen den embryonalen und ausgewachsenen Geweben beim Schweine, wenigstens nicht in

der Leber, bemerkt haben. Die Werte für die Lunge und Niere des Embryos lassen aber ganz deutlich eine geringere katalytische Kraft erkennen, als die entsprechenden Organe des ausgewachsenen Schweines. Daß bei der Leber dieser Unterschied nicht wahrgenommen werden konnte, liegt daran, daß im Verhältnisse zum Wasserstoffsuperoxyd die angewandte Gewebemenge zu groß war.

Wir haben es hier also mit ganz charakteristischen Gesetzmäßigkeiten zu tun, die wahrscheinlich für die ganze Tierwelt Geltung haben; einerseits also mit einer Abnahme vom unreifen zum reifen Ei und andererseits mit einer bedeutend geringeren Aktivität während des Embryonallebens. Was besonders diesen letzten Punkt betrifft, so scheinen die Stoffwechselvorgänge der fötalen Organismen für den geringen Katalasegehalt der Foeten von Bedeutung zu sein. Wahrscheinlich ist, daß durch die latente Funktion der Organe diese niedrige Aktivität bedingt ist. Erst nach der Geburt, wenn die Organe ihre volle Funktion aufnehmen, tritt ja die rapide Zunahme auf. Daß hierbei die Sauerstoffaufnahme lediglich den bestimmenden Faktor abgeben soll, ist nicht nachzuweisen. Einen eindeutigen Einfluß der Atmung auf den Katalasegehalt des Kaninchenblutes konnten Lockemann und Thies auch in dem Falle nicht erkennen, wo die Foeten längere Zeit am Leben erhalten werden konnten. Es kommt hierbei weniger die Sauerstoffaufnahme in Betracht, als vielmehr der Punkt, welche Stoffwechselprozesse vor sich gehen. Gerade da, wo sehr bedeutende Oxydationsprozesse stattfinden, wo die Sauerstoffaufnahme um das 6 bis 7 fache vergrößert ist, wie bei der Befruchtung, sind mit die niedrigsten Werte im ganzen Leben der Organismen erhalten worden.

Auch bei den Pflanzen sind die verschiedensten Entwicklungszustände auf die Katalase hin des näheren untersucht worden. Was hier besonders die Periode der Reifung anbelangt, so ist es Tallarico, dessen Arbeit leider nicht im Original erhalten werden konnte, der an der Banane feststellte, daß die katalytische Wirkung im grünen Stadium und während der Reifung noch intensiv, in den schwarz gewordenen Früchten nach beendeter Reife aber auch bedeutend abgeschwächt ist. Zaleski und Rosenberg[1]) geben an, daß während der Kei-

[1]) Zaleski und Rosenberg, Biochem. Zeitschr. **33**, 1911.

mung der Weizensamen — die reifen Samen sind hier ebenfalls wenig aktiv — die Menge der Katalase bis zu einem Maximum zunimmt und dann abfällt. Früher schon (1909) hat Delano[1]) nachgewiesen, daß während der Keimung der Ricinussamen sich die Katalase rasch bis zu einem Maximum vermehrt, um sodann wieder in Menge und Wirksamkeit abzunehmen. Zeitlich fällt nach dem Verfasser das Verschwinden der Katalase mit dem des Fettes zusammen. Es erinnern diese Zustände sehr an die weitere Entwicklung der Schnecken, wie sie schon skizziert wurde, und an die der Insekten, auf die im folgenden weiter eingegangen werden soll.

Tabelle XIX.

Katalasegehalt bei der Entwicklung von Periplaneta orientalis und Forficula auricularia.

	Periplaneta orientalis		Forficula auricularia	
	1 : 1000	Auf Trocken-gewicht	1 : 1000	Auf Trocken-gewicht
Ganz junge Larven . .	1891	—	27050	121029
Mittlere Larven . . .	2478	6482	—	—
„ „ . . .	1406	4445	—	—
Ausgewachsene Larven	1447	4452	29288	125109
„ „	1731	5360	26560	119910

Interessant gestalten sich die Untersuchungen bei der postembryonalen Entwicklung der Insekten.

Periplaneta orientalis, Forficula auricularia (Tabelle XIX), Dixippus morosus (Tabelle XVI), Tiere mit hemimetaboler Entwicklung, lassen keinen Unterschied zwischen den ausgebildeten und den sich entwickelnden Organismen erkennen.

Anders liegen nun die Verhältnisse bei den holometabolen Insekten, wobei als Norm die Lepidopteren angenommen werden sollen, da sie die geeignetsten Untersuchungsobjekte abgaben. Es wurden die verschiedensten Spezies untersucht (Tabelle XX). Ich konnte durchweg die gleichen Verhältnisse, wie sie schon Steche und Waentig angeben, konstatieren. Die eben geschlüpften Räupchen zeichnen sich, wie schon erwähnt, durch ihren hohen Fermentgehalt aus. Ein Unterschied in den jungen Larven bei Smerinthus ocellatus, von denen ein Teil mit Futter

[1]) Delano, Centralbl. f. Bakt. 24, 1909.

Tabelle XX.

Katalasegehalt der Lepidopteren.

Organismus	Um 1. Häutung 1:1000	Nach 2. Häutung 1:1000	Nach 2. Häutung Auf Trockengewicht	Nach 3. Häutung 1:1000	Nach 3. Häutung Auf Trockengewicht	Nach 4. Häutung 1:1000	Nach 4. Häutung Auf Trockengewicht	Nach 5. Häutung, resp. puppenreif 1:1000	Nach 5. Häutung, resp. puppenreif Auf Trockengewicht	Eben verpuppt 1:1000	Eben verpuppt Auf Trockengewicht	Ältere Puppen 1:1000	Ältere Puppen Auf Trockengewicht	Imag., eben geschlüpft 1:1000	Imag., länger geschlüpft 1:1000
I. Rhopalocera.															
Fam. Pieridae:															
Pieris brassic. . . .	8675	24909	—	11416	—	8213	—	38481	—	39318	—	25319	70319	—	3778
Fam. Nymphalidae:															
Vanessa Jo.	—	29578	—	—	—	—	—	—	—	11231	—	10243	—	11956	—
Vanessa atalanta . .	—	34844	—	—	—	—	—	9675	53865	9078	38396	13562	—	11128	4068
II. Heterocera.															
1. Sphinginea.															
Fam. Sphingidae:															
Smerinthus ocellatus	26013	23113	42275	9363	66063	7694	53943	20923	140770	—	—	58090	129310	14605	—
Sphinx ligustri . . .	29455	22453	—	7140	—	30707	—	41253	—	90653	—	47384	—	—	—
Deilephila euphorbiae	—	—	—	—	—	—	—	—	—	79054	—	10825 (vor Schlüpfen)	—	19674	3559
2. Bombycimorpha.															
Fam. Bombycidae:															
Bombyx mori . . .	—	—	—	11321	—	7156	—	21840	—	19563	—	7163	—	7663	—
„ „ . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1780 (mit Eiern)	10337	—	—
Rasse Giallo Sferico Biome	—	21921	141222	12265	85800	7150	55986	21788	125160	19955	107209	8635	50143	5857	—
Fam. Saturniidae:															
Saturnia pavonia ♀ .	—	—	—	6200	41298	11955	85521	42410	246260	40208	115575	—	—	13178	—
„ „ ♂ .	—	—	—	—	—	—	—	20885	69790	24615	73586	—	—	—	—
Fam. Lasicampidae:															
Malacosoma neustria	—	—	—	9320	—	7863	—	23598	—	22734	—	—	—	—	—
Fam. Lymantriidae:															
Leucoma salicis (Freilandexemplare) . .	—	—	—	11223	—	11313	55488	11675	—	10444	—	—	—	—	6357
Lymantria dispar . .	16588	22710	152314	11243	—	6469	—	39639	241970	27500	121155	4885	—	5272	—
Lymantria monacha .	10375	26318	—	9317	—	9706	—	15009	—	17916	—	7780	—	6855	—
Fam. Notodontidae:															
Harpyia vinula . . .	—	—	—	—	—	15690	—	38325	—	35878	101753	—	—	—	—
Phalera bucephala (Freilandexemplare)	—	15180	86336	—	—	13400	79546	50200	193270	57121	166530	—	—	—	—

und im Lichte, ein anderer im Dunkeln und ohne Nahrung gehalten wurde, ließ sich nach 1 Tag nicht erkennen. Erst mit dem Beginn der Aufnahme größerer Nahrungsmengen und des Wachstums sinkt die Katalase und erreicht ihr Minimum gewöhnlich nach der vorletzten Häutung. Am Ende der Larvenperiode tritt dann wieder eine rapide Zunahme auf, die ihr Maximum meist in der Puppe erreicht. In denjenigen Puppen, die den Winter überdauern, hält sich der Fermentgehalt längere Zeit auf dieser bedeutenden Höhe. Erst kurz vor dem Ausschlüpfen der Imagines setzt ein bedeutender Abfall ein.

Tabelle XXI.

Katalasegehalt der Blattwespen.

	Arge rosae		Cimbex femorata	
	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht
Nach 1. Häutung . .	28038	102250	—	—
„ 2. „ . .	27044	131556	6940	30704
„ 3. „ . .	16231	69303	4188	19450
„ 4. „ . .	20156	65245	1255	3655
Vor Verpuppen . . .	28713	135431	8273	29293
Puppe	38672	116710	4497	—

Tabelle XXII.

Katalasegehalt der Wespen, Bienen und Ameisen.

	Vespa vulgaris	Bienen, Arbeiter		Bienen, Drohnen		Camponotus ligniperd., Arbeiter		Camponotus ligniperd., Geschlechtstiere	
	1:1000	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht
Eier	1685	—	—	—	—	—	—	—	—
Jüngere Larven	6130	—	—	—	—	8766	45115	—	—
Mittlere Larven	—	12660	37484	—	—	—	—	—	—
Alte Larven	6853	13950	53203	—	—	6600	34702	—	—
Eben verpuppt	8150	7678	35466	—	—	—	—	—	—
Ältere Puppen	5690	5850	30155	4740	23380	5600	30234	♀ 5740	30790
Puppen kurz vor Schlüpfen	4915	4020	24155	—	—	—	—	—	—
Imag., eben geschlüpft .	—	8985	32849	3706	15103	—	—	geflügelt ♀ 7073, ♂ 8250	16570, —
Imag., länger geschlüpft .	—	2615	7708	2944	10230	1526	4417	ungeflügelt ♀ 1210, ♂ 1100	—, —

Diejenigen Puppen aber, die noch in demselben Jahre schlüpfen, wie Lymantria dispar., L. monacha, Bombyx mori usw., lassen

sehr bald eine Abnahme erkennen. Diesen zuletzt skizzierten Verhältnissen schließen sich auch die Wespen, Bienen, Ameisen (Tabellen XXI und XXII) bei ihrer Entwicklung an.

Die geschlechtsreifen Imagines selbst sind sehr wenig aktiv.

Ähnliche Zustände gelten wahrscheinlich auch für die Dipteren (Tabelle XXIII). Nur lassen sich hier die Verhältnisse infolge des Mangels der Kenntnis über die jeweiligen Geschlechtszustände und des damit zusammenhängenden Fettkörpergehaltes noch nicht klar erkennen.

Tabelle XXIII.

Katalasegehalt der Dipteren.

Organismus	Larven		Puppen		Imagines	
	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht
Corethra pallida	9472	131373	—	—	—	—
Chironomus plumosus . .	4500	—	—	—	—	—
Tipula gigantea	12650	—	—	—	—	—
Bibio hortulanus	18017	—	—	—	—	—
Eristalis tenax	3222	—	5672	—	—	—
Musca bimaculata . . .	13987	—	53313	—	—	—
Musca domestica	39785	152660	42676	177930	5028 (lange geschlüpft)	—
Sarcophaga carnaria . .	2722	—	—	—	—	—
Acanthiptera inanis . . .	68438	206590	45425	149810	—	—
Blephariptera serrata . .	—	—	41300	110150	50584	181160

Aber nicht immer zeigen die Imagines so niedrige Konstanten. Umgekehrt verhielten sich die frisch geschlüpften Tagfalter (Vanessen, Tabelle XX) und Coleopteren (Tabelle XXIV). Bei ihnen sind aber die Geschlechtsorgane noch nicht voll entwickelt, ihr Hinterleib ist noch längere Zeit ganz mit Fettkörper erfüllt. Aber auch hier trat mit der Ausbildung der Geschlechtsprodukte und der damit zusammenhängenden Resorption des Fettkörpers eine Abnahme ein. Vanessa atalanta-Falter, die über 2 Monate lang frisch erhalten wurden, zeigten nach dieser Zeit deutlich eine Abnahme. Desgleichen gaben Coleopteren wie Chrysomela fastuosa, Carabus intricatus während der Eiablage bedeutend niedrigere Konstanten (Tabelle XXV).

Tabelle XXIV.

Katalasegehalt der Coleopteren.

Name	Larven		Puppen	Imagines	
	1:1000	Auf Trocken-gewicht	1:1000	1:1000	Auf Trocken-gewicht
1. U. O. Adephaga.					
Fam. Carabeidae:					
Calosoma sycophanta . .	25620	68467	59188	14256	—
Carabus nemoralis					
Min.	—	—	—	13544	49413
Max.	—	—	—	50160	137610
Carabus intricatus					
Min.	—	—	—	34020	123390
Max.	—	—	—	81270	207590
Fam. Dytiscidae:					
Dyticus marginalis					
Min.	8097	48955	—	4181	14954
Max.	17629	145319	—	18519	66234
Acilius sulcatus	—	—	—	22031	96924
2. U. O. Polyphaga.					
2. Sektion.					
Fam. Hydrophilidae:					
Hydrophylus piceus					
Min.	—	—	—	7778	—
Max.	—	—	—	17781	—
Fam. Cantharidae:					
Cantharis fusca	—	—	—	16919	—
Fam. Coccinellidae:					
Anatis ocellata, Larv. . .	1989	—	2627	—	—
Coccinella septemp., Imag.	—	—	—	481	—
3. Sektion. Heteromera.					
Fam. Tenebrionidae:					
Tenebris molitor	78087	198645	78875	54977	154170
Blaps mortisaga	—	—	—	22451	57026
4. Sektion. Phytophaga.					
Fam. Cerambycidae:					
Clytus arcuatus	2690	8931	—	—	—
Leptura rubra	—	—	—	2716	—
Fam. Chrysomelidae:					
Chrysomela fastuosa					
Min.	—	—	—	28805	89207
Max.	—	—	—	91050	281840
6. Sektion. Lamellicornidae.					
Fam. Scarabicidae:					
Geotrupes stercorarius . .	—	—	—	51694	—
Melolontha vulgaris . . .	2768	16428	—	—	—
Rhizotrogus solstitialis . .	—	—	—	37865	103371
Cetonia aurata	25275	—	—	36400	101120
Oryctes nasicornis	33648	129500	43338	55981	142192

Am besten ließ sich aber eine Abhängigkeit der Katalase von der durch die Ausbildung der Geschlechtsprodukte bedingten

Abnahme des Fettkörpers bei den Wasserkäfern Hydrophilus piceus und Dyticus marginalis (Tabelle XXVI) wahrnehmen.

Tabelle XXV.

Änderung des Katalasegehalts der Coleopteren mit der Reifung der Geschlechtsprodukte.

Name	Vor der Eiablage		Nach der Eiablage	
	1:1000	Auf Trockengewicht	1:1000	Auf Trockengewicht
Astilbus caniculatus . . .	77013	153860	29294	58588
Chrysomela fastuosa . .	91050	281840	28805	89207
Carabus intricatus . . .	81020	207590	34020	123390
Carabus nemoralis . . .	50160	137610	13544	49413

Tabelle XXVI.

Katalasegehalt von Dyticus marginalis während verschiedener Perioden.

Art des Geschlechts	Datum	1:1000	Auf Trockengewicht
♂ und ♀ . . .	26. V. 12	5356	19156
♂	25. XII. 12	18519	66234
♂ und ♀ . . .	28. XII. 12	14954	53490
♂	11. VI. 13	7475	26734
♂	17. VI. 13	4181	14954
♂	11. VI. 13	5293	18931
♂ und ♀ . . .	10. VII. 13	10307	46864

Blunck[1]) fand ja speziell an Dyticus, daß diese Tiere mehrere Male im Jahre der Eiablage obliegen. Ganz analog diesen Perioden war auch eine Abnahme im Katalasegehalt nachweisbar. Leider gelang es nicht, bei allen untersuchten Coleopteren, wie Geotrupes silvaticus, Blaps mortisaga usw., eine geringere Aktivität festzustellen. Es ist aber ziemlich schwierig, die Verhältnisse kontrollieren zu können. Es kommt selbstverständlich auf die jeweiligen Reifezustände an, unter denen die Tiere untersucht wurden. Man kann ja nie genau sagen, wie weit die Reife der Geschlechtsprodukte bei den einzelnen Exemplaren gediehen ist. Dabei ist ferner noch zu berücksichtigen, daß besonders günstige Lebensbedingungen und damit zusammenhängend sehr lebhafte Stoffwechselvorgänge ev. kompensatorisch wirken können. Einen wesentlichen Stützpunkt für die Annahme einer Abhängigkeit der Katalase von der Ausbildung

[1]) Hans Blunck, Zeitschr. f. wissensch. Zoologie **104**, 157, 1913.

der Geschlechtsprodukte bei den Insekten gibt noch ein merkwürdiger Befund ab. Es gelang einmal bei einer kurz vor dem Schlüpfen stehenden Puppe von Bombyx mori, in dieser schon Eier nachzuweisen. Und diese zeigte nun eine auffällig niedrige katalytische Wirkung. Von diesem Gesichtspunkt aus lassen sich auch die Verhältnisse bei den Puppen von Lymantria dispar, L. monacha, Bombyx mori usw. und den Hymenopteren erklären. Infolge des kurzen Ruhestadiums gehen hier die Umschmelzungen innerhalb 2 bis 4 Wochen vor sich. Es wird dabei schon zeitig der Fettkörper auf Kosten der heranreifenden Geschlechtsprodukte zum großen Teil resorbiert. Die Falter schlüpfen ja als geschlechtsreife Tiere, die nach wenig Tagen, selbst Stunden schon Eier ablegen. Und so ist zu erwarten, daß schon kurze Zeit nach der Verpuppung sich eine Abnahme im Katalasegehalt bemerkbar macht. Bei denjenigen Puppen aber, die den Winter überdauern, erfolgen die Umsetzungen langsamer, der hohe Katalasegehalt erhält sich noch lange Zeit, und erst wenn die Reifung vor dem Schlüpfen eintritt, nimmt er auch hier rapid ab.

Vielleicht sind auch die unregelmäßigen Werte bei den Schnecken, z. B. bei Limnaea stagnalis (Tabelle XXVII) durch die Geschlechtszustände bedingt. Die Tiere laichen ja zu ganz beliebigen Zeiten das ganze Jahr über, und es könnte möglich sein, daß analog wie bei den Insekten die Schnecken bei jeder Reifung der Geschlechtsprodukte ein Minimum zeigen.

Tabelle XXVII.

Schwankungen der Werte von Limnaea stagnalis.

Limnaea stagnalis	Datum	1 : 1000	Auf Trockengewicht	Trockengewicht %
Ganze Tiere	1. XII. 12	2497	13404	18,63
„ „	14. XII.	8194	44973	18,22
„ „	16. XII.	972	5580	17,42
„ „	16. XII.	6847	32466	21,09
„ „	4. VI. 13	1576	10161	15,31
„ „	4. VI.	1784	11506	15,31
„ „	4. VI.	3118	16506	15,31

Ein weiteres interessantes Verhalten wäre hier noch an den Geschlechtstieren von Camponotus zu erwähnen (Tabelle XXII).

Die geflügelten männlichen und weiblichen Tiere sind, bevor sie den Hochzeitsflug antreten, ziemlich reich an Katalase, fängt man sie aber danach ein, so zeigen sie eine bedeutend geringere katalytische Wirkung. Daß diese Abnahme in diesem Falle aber kaum in einer Reifung der Geschlechtsprodukte zu suchen ist, geht daraus hervor, daß es noch längere Zeit dauert, ehe die Tiere Eier ablegen. Es könnte hierbei vielmehr ein anderer Faktor in Betracht kommen, nämlich die Änderung im Heliotropismus. Wenn sich die Tiere zum Hochzeitsfluge anschicken, sind sie stark positiv, nach dem Fluge dagegen negativ heliotropisch. Nach der Hypothese von W. Ostwald soll nun der Heliotropismus eine Art Regulationsmechanismus darstellen, und zwar soll er abhängig sein von dem Gehalt an Katalase und Oxydase. Die Tiere werden positiv heliotropisch, um ihren Überschuß an Katalase loszuwerden, negativ heliotropisch, um wieder ihren notwendigen Grad von Katalase herzustellen.

Daß aber andere Verhältnisse hier vorliegen, zeigt die Abnahme nach dem Abwerfen der Flügel. Ohne daß die Tiere ihren Hochzeitsflug angetreten haben, nehmen sie in der Gefangenschaft, nachdem sie die Flügel verloren haben, bedeutend an Katalase ab. Untersuchungen von Wheeler u. a. haben nun gezeigt, daß das Abwerfen resp. künstliche Entfernen der Flügel große Umwälzungen in den biologischen Verhältnissen bei den Ameisen und Termiten bewirkt. Dabei wird wahrscheinlich auch die Katalase in Mitleidenschaft gezogen.

Ein Unterschied zwischen ♂ und ♀ konnte fast nie festgestellt werden. Nur bei Saturnia pavonia gelang es, eine Verschiedenheit der Wasserstoffsuperoxyd zersetzenden Kraft in den männlichen und weiblichen Extrakten nachzuweisen, die sich von der letzten Häutung an bemerkbar machte. Die ♀ sind ungefähr doppelt so aktiv als die ♂. Schon Dewitz macht auf einen Unterschied der ♂ und ♀ Puppen bei Saturnia pyri aufmerksam; er fand, daß die ♀ 2 bis 3 mal mehr Sauerstoff als die ♂ entwickeln. Dieses verschiedene Verhalten ist wahrscheinlich auch durch den verschiedenen Fettkörpergehalt bedingt. Bei dieser Familie ist ja auch der Unterschied der Geschlechter besonders stark ausgeprägt. Die ♂ Puppen sind relativ klein und besitzen einen spitzen Hinterleib, die ♀ sind

dagegen größer und zeichnen sich durch den breiten Hinterleib aus. Ganz entsprechend ist nun auch der Fettkörper ausgebildet. Die ♀ haben eine relativ große Fettmenge und sind sehr aktiv, die ♂ dagegen weisen einen kleinen Fettkörper auf und haben auch eine geringe katalytische Wirkung.

Die Parallelität zwischen dem Fettgewebe und dem Katalasegehalt bei den Insekten ist recht auffällig. Schon Liebermann macht 1904 auf die besondere katalytische Wirkung des Schweine- und Rinderfettes aufmerksam. Und auch Euler (1905) glaubt, daß den lipolytischen Extrakten vorzüglich die Eigenschaft zukommt, Wasserstoffsuperoxyd zu zersetzen. Er stellt die Organe zusammen, in denen die Katalase nachgewiesen wurde und in besonders starker Konzentration vorkommt, und zeigt, daß überall, wo Fett gebildet bzw. umgesetzt wird, Katalase zu finden ist. Deshalb aber eine direkte Beziehung zwischen der Katalase und der lipolytischen Kraft der Extrakte anzunehmen, ist doch wohl zu weit gegangen. Daß z. B. die Katalase an den Fettkügelchen haftet, ist doch sehr begreiflich, da sie infolge ihrer Oberfläche ein gutes Adsorptionsmedium abgeben. Haften doch auch Eiweißstoffe an ihnen. Auch das Vorkommen von Lipasen in der Milch ist noch gar nicht so sicher bewiesen. Jedenfalls gehen darüber die Meinungen der verschiedenen Autoren weit auseinander. Und was das fettspaltende Vermögen des Blutes anbetrifft, so ist es doch sehr gering. Und doch ist die Parallelität zwischen dem Fettgewebe und dem Katalasegehalt bei den Insekten sehr auffällig. Als zufällig kann man hier diese Beziehungen kaum bezeichnen. Es ist aber dabei auch zu berücksichtigen, daß z. B. während des Puppenstadiums und während der Abnahme des Fettkörpers durch die Geschlechtsreife noch ganz gewaltige chemische Vorgänge vor sich gehen, die hierbei doch sicher auch in Betracht kommen. Auffällig ist doch auch der Befund von Delano, der, wie schon erwähnt, an Rizinussamen nachweisen konnte, daß zeitlich mit dem Verschwinden des Fettes auch ein Sinken der Katalase parallel geht. Aber auch hier finden gerade während dieser Periode noch ganz energische chemische Umsetzungen statt. Dazu kommt noch, daß besonders fettarme Organismen wie Asseln und Julus unilineatus im Gegensatz zu Lithobius sehr wenig aktiv sind.

Glykogen und Fett, beide hervorragende Speichersubstanzen im Organismus, repräsentieren einen gewissen Energievorrat, und beide lassen auch eine gewisse Beziehung zur Katalase erkennen.

Loew vermutet, daß bei der Glykogen- und Fettumwandlung eine große Menge Hyperoxyd sich bildet, die einen entsprechenden Katalasegehalt verursacht. Es wäre dies ja eine recht plausible Erklärung; nur sind dies alles Vermutungen, ein experimenteller Nachweis ist ja dafür nicht erbracht worden. Bevor man nicht erst die Stoffwechselvorgänge im Organismus besser kennt, bevor man nicht genau weiß, welche Stoffe, ob Kohlenhydrate, Fette oder Eiweißkörper zu den verschiedenen Zeiten umgesetzt und gebildet werden, bevor man nicht auch das qualitative und quantitative Vorkommen der anderen Enzyme festgestellt hat, wird es kaum gelingen, einen vollkommenen Aufschluß über die biologische Bedeutung der Katalase zu erlangen. Immerhin zeigen diese Untersuchungen eine Menge Anhaltspunkte, die für gesetzmäßige Beziehungen des Katalasegehaltes und der Stoffwechselprozesse sprechen.

III. Kapitel.
Reaktionskinetische Untersuchungen.

Wie schon erwähnt, wurden die Versuche zum größten Teile im Vakuum und unter stetigem Schütteln ausgeführt. Die in den Tabellen I bis XXVII angegebenen Werte beziehen sich alle auf Schüttelversuche. Es wurden auch Versuche ohne Schütteln mit ausgeführt.

Der Grund für die so gewählte Versuchsanordnung ergibt sich aus den neueren Untersuchungen von Steche und von Waentig: „Über die Kinetik der fermentativen Hydroperoxydzersetzung“. Nach den Arbeiten früherer Autoren herrschte allgemein die Auffassung, daß die Wasserstoffsuperoxydzersetzung durch organische Gewebe nach dem Schema einer Reaktion I. Ordnung erfolge und sich eng an den von Bredig und seinen Schülern studierten Reaktionsverlauf der Platinkatalyse anschließe. Demgegenüber machten Steche und Waentig die Beobachtung, daß die nach der Reaktionsgleichung erster Ordnung berechneten Konstanten während der Reaktion ständig fielen, und daß sie nicht, wie besonders

Senter unter ganz bestimmten Bedingungen an der Blutkatalase fand, unter den gleichen Versuchsbedingungen während aller Phasen gleichblieben. Die Ursachen für diese auffallenden Abweichungen konnten verschiedene sein. Eine Reinigung der Fermentlösungen, die Annahme einer Oxydation des Fermentes durch das Wasserstoffsuperoxyd ergaben keine Anhaltspunkte, die geeignet waren, einen solchen Gang völlig zu erklären. Einen Hinweis, in welcher Richtung die Erklärung für das Auftreten des absteigenden Ganges zu suchen war, gab erst der Einfluß gelöster Gase.

Eine Sonderstellung nimmt die Kohlensäure ein, da sie H-Ionen liefert, die bekanntlich schädigend wirken. Sättigung rief hier eine starke Aktivitätsabnahme und auch einen ungewöhnlich starken Gang hervor. Schon die im gewöhnlichen destillierten Wasser enthaltene CO_2 macht sich schädigend bemerkbar; es wurde deshalb immer mit CO_2-freiem Wasser gearbeitet. Die Wirkung anderer gelöster Gase und die theoretischen Vorstellungen über die Vorgänge bei der H_2O_2-Zersetzung führten dann Steche und Waentig zu der Annahme, daß die H_2O_2-Katalyse durch die tierischen und pflanzlichen Extrakte als eine Adsorptionskatalyse aufzufassen sei, und daß die Ursache des absteigenden Ganges während der Reaktion in der durch die Fermentteilchen bewirkten Adsorption des Sauerstoffs gesucht werden müsse. In der kolloidalen Fermentlösung, die als sog. mikroheterogenes System zu denken ist, erfolgt die H_2O_2-Zersetzung an der Oberfläche der betreffenden Fermentteilchen. An den Stellen nun, an denen die Zersetzung vor sich geht, nimmt die Konzentration des H_2O_2 ständig ab; neues H_2O_2 muß entsprechend dem Konzentrationsgefälle herandiffundieren. Der zweite, chemische Vorgang, die H_2O_2-Zersetzung selbst, geht mit unmeßbarer Geschwindigkeit vor sich. Wir messen also in den meisten Fällen, wie die Untersuchungen von Nernst und Brunner im makroheterogenen System ergaben, nur die Diffusion; und die gemessene Geschwindigkeit ist bei hinreichender Durchschüttelung, wenn man auf die überall gleichmäßige Konzentration der reagierenden Stoffe sieht, die einer Reaktion erster Ordnung. Im kolloidalen System erfolgt nun diese Durchrührung infolge der Brownschen Molekularbewegung von selbst. Anders gestalten sich aber nun die

Verhältnisse, wenn die entstehenden Reaktionsprodukte auf den Reaktionsverlauf einwirken. In unserem Falle wird nun, wie Steche und Waentig zeigen, durch die Fermentteilchen Sauerstoff adsorbiert. Entsprechend nun, wie sich der Sauerstoff darum anlagert, wird auch die Diffusion verzögert, die Zersetzungsgeschwindigkeit nimmt ab, und die Folge davon ist der absteigende Gang der Konstanten. Dazu kommt noch, daß auch das Wasserstoffsuperoxyd adsorbiert wird, so daß gewissermaßen zwischen dem Sauerstoff und dem H_2O_2 ein Wettkampf um die Fermentteilchen stattfindet. In diesem Falle kommt neben der spezifischen Adsorptionsfähigkeit auch noch die Konzentration der beteiligten Stoffe in Betracht. Je höher also die Konzentration eines Stoffes ist, um so mehr verdrängt er seinen Konkurrenten. Die Reaktionsgeschwindigkeit nimmt also um so mehr ab, je mehr das H_2O_2 infolge der Übersättigung der Lösung durch den sich entwickelnden Sauerstoff verdrängt wird.

Diese Adsorptionstheorie von Waentig und Steche ist vorzüglich geeignet, die kinetischen Eigentümlichkeiten der fermentativen Hydroperoxydzersetzung zu erklären.

Man kann die Richtigkeit der Ansicht, daß bei diesen Prozessen Adsorptionsvorgänge eine wichtige Rolle spielen, durch eine Versuchsanordnung erhärten, bei der nach Möglichkeit die Adsorption ausgeschaltet ist. Dies geschieht durch das Schütteln des Reaktionsgemisches im Vakuum. Der absteigende Gang wird dadurch fast durchweg verringert, sehr oft sogar aufgehoben und in vielen Fällen in einen aufsteigenden verwandelt.

Wenn ich hier auf die theoretische Seite genauer eingegangen bin, und wenn ich im folgenden eine größere Anzahl von Tabellen anführen werde, als ursprünglich beabsichtigt war, so geschieht dies deshalb, weil in jüngster Zeit eine Arbeit von Michaelis und Pechstein[1]) erschienen ist, in der die Bedeutung der Adsorption in Zweifel gezogen wird, da die Verfasser bei Leberextrakten keine Schüttelwirkung feststellen konnten. Gestützt auf viele Hunderte von Versuchen kann ich die Verbesserung, resp. Aufhebung des Ganges durch das Schütteln im Vakuum nur bestätigen und der Auffassung der Reaktion als Adsorptionskatalyse nur zustimmen. Bei den zahlreichen Versuchen vorliegender Arbeit hat sich die Schüttel-

[1]) Michaelis und Pechstein, Biochem. Zeitschr. **1914**.

Tabelle XXVIII.

Einfluß des Schüttelns auf den Reaktionsverlauf der Lepidopteren-Katalase.

20. V. 1912.				7. VII. 1912.				15. VII. 1912.				27. VI. 1912.				9. VII. 1912.			
Lymantria disp. (Raup.). 8 Raup. = 3,915 g; mit 97,88 ccm H_2O verdünnt (1 : 25). Filtrat: Bräunlich, trübe, neutral. 2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 3125).				Lymantria dispar (Pupp.). 9 ♀ Pupp. = 3,512 g; mit 87,8 ccm H_2O verdünnt (1 : 25). Filtrat: Bräunlich, trübe neutral. 1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 6250).				Lymantria mon. (Pupp.). 14 ♀ Pupp. = 6,129 g; mit 153,2 ccm H_2O verdünnt (1 : 25). Filtrat: Schwärzlich, neutral. 2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 3125).				Vanessa atalanta. 26 Raup. = 5,078 g; mit 126,95 ccm H_2O verdünnt (1 : 25). Filtrat: Dunkel, trübe, neutral. 1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 6250).				Bombyx mori. 2 Imag. = 0,866 g; mit 21,65 ccm H_2O verdünnt (1 : 25). Filtrat: Gelblich, trübe, neutral. 2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (1 : 3125).			
Geschüttelt 9h 51′.				Geschüttelt 8h 28′.				Geschüttelt 10h 09′.				Geschüttelt 2h 37′.				Geschüttelt 7h 47′.			
t	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000	*t*	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000	*t*	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000	*t*	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000	*t*	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000
1′	11,65			1′30″	16,75			1′30″	12,60			1′30″	10,60			2′30″	16,80		
4′	8,00	5441	17013	3′30″	15,90	1131	7069	3′30″	10,10	4803	15009	3′30″	8,20	5575	34844	4′30″	15,00	2452	7663
9′	4,25	5494		9′30″	13,98	1137		6′30″	6,95	5411		8′30″	4,40	5407		9′30″	11,15	2577	
15′	2,00	5456		15′30″	11,95	1120		10′30″	4,15	5579		14′30″	2,15	5183		15′30″	7,75	2628	
				29′30″	10,00	1105		16′30″	1,80	6046		21′30″	1,00	4749		22′30″	5,25	2824	
Desgl. nicht geschüttelt 9h 31′.				Desgl. nicht geschüttelt 4h 14′.				Desgl. nicht geschüttelt 3h 14′.				Desgl. nicht geschüttelt 3h 01′.				Desgl. nicht geschüttelt 11h 55′.			
1′	12,49			1′30″	14,00			1′30″	12,60			1′30″	10,20			1′30″	13,68		
5′	7,70	5252	16728	3′30″	13,37	1000	6250	3′30″	10,05	4910	15344	3′30″	8,20	4740	29625	3′30″	12,15	2528	7900
10′	4,77	4159		8′30″	12,19	803		6′30″	7,50	4237		8′30″	4,98	4332		6′30″	11,00	1436	
15′	3,18	3522		14′30″	11,11	672		10′30″	5,15	4081		14′30″	2,80	4168		10′30″	9,80	1254	
20′	2,25	3005		21′30″	10,00	653		16′30″	3,05	3792		21′30″	1,60	3472		16′30″	8,35	1159	
31′	1,27	2267																	

methode im Vakuum ausgezeichnet bewährt. Es gelang mit ihrer Hilfe bedeutend bessere und mehr übereinstimmende Werte zu erhalten, als bei den oft gleichzeitig unternommenen Versuchen, bei denen nicht geschüttelt wurde.

Im folgenden möchte ich zunächst über das Verhalten der verschiedensten Extrakte bei Schüttelversuchen und solchen, wo nicht geschüttelt wurde, berichten, um dann allgemein den Reaktionsverlauf bei den verschiedenen Tiergruppen zu besprechen. Es wurden dabei die Versuche nach Möglichkeit so gewählt, daß sie eine Ergänzung zu den im physiologischen Teile angeführten Werten bilden.

Was nun den Einfluß des Schüttelns anbelangt, so sind besonders die Insekten dafür charakteristisch, da sie trotz des Schüttels im großen und ganzen zu absteigenden Gängen neigen. Es läßt sich aber durchweg konstatieren, daß das Schütteln im Vakuum von großem Einfluß auf den Reaktionsverlauf ist. In den Tabellen XXVIII bis XXX sind eine Menge charakteristischer Beispiele von den Lepidopteren, Coleopteren und anderen Insekten zusammengestellt.

Tabelle XXIX (siehe Tabelle I).

Einfluß des Schüttelns auf den Reaktionsverlauf der Coleopteren-Katalase.

13. VI. 1912.				14. VII. 1912.				4. VII. 1912.			
Calosoma sycophanta, Imag.				Cantharis, Imag.				Donacia.			
2 Tiere = 1,601 g; mit 40,03 ccm H_2O verd. (1 : 25). Filtrat: Dunkel, trübe, neutral. 1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 6250).				15 Tiere = 0,607 g; mit 15,18 ccm H_2O verd. (1 : 25). Filtrat: Gelblich, trübe, neutral. 1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (1 : 6250).				33 Tiere = 0,931 g; mit 23,28 ccm H_2O verd. (1 : 25). Filtrat: Gelblich, trübe, neutral. 2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 3125).			
Geschüttelt 10^h 15′.				Geschüttelt 9^h 37′.				Geschüttelt 8^h 12′.			
t	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000	*t*	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000	*t*	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000
1′	13,25	3728	23300	1′ 30″	13,00	2757	17231	1′ 30″	18,10	2543	7947
3′	11,16	4372		3′ 30″	11,45	3167		3′ 30″	16,10	2238	
9′	6,10	4338		6′ 30″	9,20	3282		6′ 30″	13,80	2228	
15′	3,35	4480		10′ 30″	6,80	3317		10′ 30″	11,84	2176	
20′	2,00			16′ 30″	4,30			16′ 30″	7,90		
Desgl. nicht geschüttelt 8^h 10′.				Desgl. nicht geschüttelt 11^h 11′.				Desgl. nicht geschüttelt 10^h 59″.			
1′	13,40	3991	24944	1′ 30″	12,65	2839	17743	1′ 30″	13,70	2697	8428
3′	11,15	3633		3′ 30″	11,10	2797		3′ 30″	12,10	1849	
9′	6,75	3348		6′ 30″	9,15	2379		7′ 30″	10,30	1616	
15′	4,25	2589		10′ 30″	7,35	2367		10′ 30″	8,95	1606	
22′	2,80	2296		16′ 30″	5,30			16′ 30″	7,65		
32′	1,65										

Tabelle XXX.

Einfluß des Schüttelns auf den Reaktionsverlauf der Katalase anderer Insekten.

13. VII. 1912.					8. VII. 1912.					27. VI. 1912.					27. VI. 1912.					26. VII. 1912.				
Bombus lapidarius, Imag.					21 Larven von Musca bimaculata.					Panorpa communis, Imag.					Agrion puella, Imag.					Decticus verrucivorus, Imag.				
2 Tiere = 0,338 g; mit 8,45 ccm H_2O verdünnt (1 : 25).					Gewicht = 2,90 g; mit 72,5 ccm H_2O verdünnt (1 : 25).					5 Tiere = 0,175 g; mit 8,75 ccm H_2O verdünnt (1 : 50).					8 Tiere = 1,394 g; mit 34,85 ccm H_2O verd. (1 : 25).					Darm von 3 Tieren = 0,695 g; mit 17,38 ccm H_2O verdünnt (1 : 25).				
Filtrat: Gelblich, trübe, neutral.					Filtrat: Bräunlich, trübe, neutral.					Filtrat: Gelblich, klar, neutral.					Filtrat: Gelblich, klar, neutral.					Filtrat: Rötlich-gelb, trübe, neutral.				
1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 6250).					1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (1 : 6250).					2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 6250).					2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 3125).					2 ccm + 250 $^n/_{400}H_2O_2$ (= 1 : 3125).				
Geschüttelt 3h 30″.					Geschüttelt 10h 15′.					Geschüttelt 2h 4′					Geschüttelt 10h 25′.					Geschüttelt 4h 10′.				
t	$KMnO_4$	K		Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K		Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K		Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K		Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K		Ber. 1:1000
1′30″	12,72				1′30″	13,30				1′30″	12,75				1′30″	12,38				1′30″	7,26			
3′30″	11,10	2959		18494	3′30″	11,90	2415		15094	3′30″	11,05	3108		19425	3′30″	12,20	318		994	3′30″	3,75	14346		44831
6′30″	9,10	2876			6′30″	10,00	2518			8′30″	8,00	2806			8′30″	11,75	326			6′30″	1,55	12790		
10′30″	7,00	2849			10′30″	8,00	2423			14′30″	5,45	2778			14′30″	11,15	379			9′30″	0,75	10809		
16′30″	4,75	2807			16′30″	5,80	2328			28′30″	2,75	2122			21′30″	10,50	373							
Desgl. nicht geschüttelt 4h 01′.					Desgl. nicht geschüttelt 11h 22′.					Desgl. nicht geschüttelt 4h 16′					Desgl. nicht geschüttelt 3h 05′.					Desgl. nicht geschüttelt 4h 45′.				
1′30″	12,80				1′30″	13,80				2′	11,80				1′30″	12,40				1′30″	10,50			
3′30″	11,25	2822		17638	3′30″	12,15	2765		17281	4′	10,35	3347		20921	3′30″	12,20	358		1119	3′30″	5,65	13418		41931
6′30″	9,65	2208			6′30″	10,80	1705			11′	7,90	2676			7′30″	11,88	264			6′30″	3,40	7378		
10′30″	7,90	2183			10′30″	9,30	1624			17′	5,75	2299			14′30″	11,65	178			10′30″	2,35	4010		
16′30″	5,80	2237			16′30″	7,62	1442			27′	3,15	1614			22′30″	11,40	118			16′30″	1,10	5495		

Die Lepidopterenkatalase, speziell die von Lymantria dispar, zeigt geschüttelt eine recht gute Konstanz, die Versuche ohne Schütteln fallen dabei ziemlich schnell, aber doch regelmäßig ab. Die Lymantria monacha steigt geschüttelt langsam auf; die Versuche, bei denen nicht geschüttelt wurde, sinken dementsprechend langsamer als bei Lymantria dispar ab. So zeigen beide Versuche einen Gang, der aber bei dem ungeschüttelten bedeutend stärker ist als bei geschüttelten. Besonders auffällig ist der plötzliche Abfall der Werte von Bombyx mori, einem Versuch ohne Schütteln. Ganz ähnliche Verhältnisse zeigen die Coleopteren und die übrigen Insekten. Immer wieder lassen die Schüttelversuche entweder eine gute Konstanz (Bombus lapidarius, Musca bimaculata, Agrion puella) oder ein nur geringes Aufsteigen (Calosoma sycophanta, Cantharis) oder auch einen abfallenden Gang erkennen (Donacia, Panorpa, Decticus), der aber im Vergleich zu den Versuchen ohne Schütteln sich in viel engeren Grenzen bewegt.

Auffällig ist besonders noch, daß die Versuche ohne Schütteln zu einem großen Teile höhere Anfangskonstanten zeigen als die geschüttelten. In Tabelle XXXI finden wir Beispiele in dieser Hinsicht zusammengestellt. Gewöhnlich sinken dann aber gerade diese Versuche auch sehr rasch ab, während die Versuche ohne Schütteln, die mit niedrigeren Anfangswerten als die geschüttelten beginnen (Tabelle XXXII), keine so steil abfallenden Gänge aufweisen.

Eine Beziehung zur absoluten Höhe der jeweiligen Aktivität bei den verschiedenen Tiergruppen läßt sich nicht erkennen. Es lag ja die Vermutung nahe, daß besonders schwache Fermente, deren Adsorptionsfähigkeit also gering ist, einen aufsteigenden, solche von großer katalytischer Energie die Tendenz zu fallenden Gängen ergeben möchten. Bei den Extrakten der verschiedensten Herkunft läßt sich aber ein derartiges Verhalten nicht bemerken. Wohl zeigen einige sehr schwache Enzyme, wie die von Agrion puella, Sarcophaga, Cetonia-Lymphe usw., auf Grund des Schüttelns aufsteigende Konstanten, aber andererseits existieren auch sehr wenig aktive Extrakte (Leucoma-Puppen), die während der Reaktion fallende K-Werte ergeben. Das gleiche Verhalten finden wir auch bei den Fermenten mit hoher Aktivität. Auch hier gibt

Tabelle XXXI.

Tabellen mit höherem Anfangswert der ungeschüttelten Versuche.

27. VI. 1912.				16. VI. 1912.				15. VI. 1912.				13. VII. 1912.				27. VIII. 1912.			
Sarcophaga carnaria, Larven.				Cetonia aurata, Larven, Lymphe.				Geotrupes silvaticus, Imag.				Carabus nemoralis, Imag.				Cimbex femorata, Puppe.			
60 Larven = 5,766 g; mit 144,15 ccm H_2O verdünnt (1 : 25).				Von 4 Larven Lymphe 1 : 50 verdünnt.				3 Tiere = 1,213 g; mit 60,65 ccm H_2O verd. (1 : 50). Diese 1 : 5 verdünnt.				1 Tier = 0,278 g; mit 6,95 ccm H_2O verdünnt (1 : 25).				1 Puppe = 0,732 g; mit 18,3 ccm H_2O verdünnt (1 : 25).			
Filtrat: Grau, trübe, neutral.				Filtrat: Weißlich-grau; durch H_2O rot.				Filtrat: Hellgrau, neutral.				Filtrat: Gelblich, trübe, neutral.				Filtrat: Gelb, trübe, neutral.			
2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 3125).				2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 6250).				1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 62500).				1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 6250).				2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (1 : 3125).			
Geschüttelt 3h 18′.				Geschüttelt 3h 10′.				Geschüttelt 10h 36′.				Geschüttelt 2h 25′.				Geschüttelt 9h 35′.			
t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′30″	12,70			1′30″	12,90			1′30″	12,30			1′30″	15,90			1′30″	10,90		
3′30″	12,20	872	2725	3′30″	12,32	999	6254	3′30″	11,85	809	60563	3′30″	14,39	2167	13544	3′30″	10,20	1439	4497
8′30″	10,96	931		8′30″	10,75	1184		9′30″	10,50	841		6′30″	12,50	2038		6′30″	9,20	1494	
14′30″	9,62	944		14′30″	8,87	1391		14′30″	9,60	820		10′30″	10,36	2039		10′30″	8,00	1520	
21′30″	8,20	991		21′30″	7,10	1381		21′30″	8,20	978		16′30″	7,90	1964		16′30″	6,40	1615	
Desgl. nicht geschüttelt 4h 22′.				Desgl. nicht geschüttelt 10h 26′.				Desgl. nicht geschüttelt 10h 46′.				Desgl. nicht geschüttelt 3h 59′.				Desgl. nicht geschüttelt 11h 05′.			
1′30″	12,50			1′30″	12,95			1′30″	15,95			1′30″	12,60			1′30″	11,05		
3′30″	11,91	1050	3281	3′30″	12,10	1474	9212	3′30″	15,20	1046	65375	3′30″	11,10	2753	17106	3′30″	10,25	1655	
8′30″	10,63	988		8′30″	10,50	1280		8′30″	13,55	998		7′30″	9,30	1921		6′30″	9,15	1628	
14′30″	9,50	813		14′30″	9,04	1084		14′30″	12,13	801		10′30″	8,35	1560		10′30″	8,00	1458	
21′30″	8,35	800		21′30″	7,85	681		21′30″	10,67	661		16′30″	6,75	1540		16′30″	6,60	1393	

es deren, die trotz ihrer großen katalytischen Energie (Lymantria monacha-Puppen usw.) aufsteigende Gänge erkennen lassen.

Tabelle XXXII.

Tabellen mit niederem Anfangswert der ungeschüttelten Versuche.

23. VII. 1912.				27. VII. 1912.				14. VI. 1912.			
Leucoma salicis, Puppen.				Decticus verrucivorus 1 ♀.				Liogryllus campestris, Imag.			
5 Pupp. = 3,05 g; mit 76,25 ccm H_2O verd. (1 : 25).				1 ♀ = 2,812 g; mit 70,30 ccm H_2O verdünnt (1 : 25).				1 Tier = 1,065 g; mit 53,50 ccm H_2O verd. (1 : 50).			
Filtrat: Gelb, trübe, neutral.				Filtrat: Gelblich, trübe, neutral.				Filtrat: Opalisierend trübe, neutral.			
1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 6250).				1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 6250).				1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 12500).			
Geschüttelt 11h 55′.				Geschüttelt 10h 10′.				Geschüttelt 4h 51′.			
t	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000	*t*	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000	*t*	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000
1′ 30″	13,50			1′ 30″	12,73			1′ 30″	12,57		
3′ 30″	12,50	1671	10444	3′ 30″	10,40	4390	27437	3′ 30″	11,25	2410	30125
6′ 30″	11,14	1667		6′ 30″	7,70	4351		8′ 30″	8,70	2433	
10′ 30″	9,65	1559		10′ 30″	5,20	4262		14′ 30″	6,30	2170	
16′ 30″	7,80	1541		16′ 30″	2,93	4152		21′ 30″	4,20	2370	
Desgl. nicht geschüttelt 12h 23′.				Desgl. nicht geschüttelt 10h 50′.				Desgl. nicht geschüttelt 4h 37′.			
1′ 30″	14,20			1′ 30″	11,74			1′ 30″	13,00		
3′ 30″	13,35	1341	8381	3′ 30″	9,60	4370	27125	3′ 30″	11,98	1829	22863
6′ 30″	12,25	1245		6′ 30″	7,10	4367		8′ 30″	9,95	1591	
10′ 30″	11,06	1112		10′ 30″	4,80	4281		14′ 30″	8,00	1579	
18′ 30″	9,90	802		16′ 30″	2,85	3777		21′ 30″	6,30	1482	

Daß eine Beziehung zwischen der absoluten Höhe der Aktivität und der Art der Gänge nicht zu bestehen braucht, lehrt schon eine einfache Überlegung. Die katalytische Wirkung ist ja bedingt durch die Zahl und die Adsorptionskraft der Fermentteilchen. Eine H_2O_2-Zersetzung von bestimmter Stärke kann nun bedingt sein durch viele Teilchen mit geringer Adsorption oder durch eine kleinere Zahl Fermentteilchen mit großer Adsorptionskraft. Im ersteren Falle hätten wir dann gute Konstanten oder aufsteigende Werte zu erwarten, während im letzteren Falle ein fallender Gang auftreten müßte.

Auch die Katalase aus anderen Tiergruppen läßt eine Einwirkung des Schütteln erkennen. Die Schnecken-Katalase (Tabelle XXXIII) z. B. gibt geschüttelt recht gute und aufsteigende Werte, während die Versuche ohne Schütteln wieder durch abfallende Gänge charakterisiert sind. Gerade letztere zeichnen

Tabelle XXXIII.

Einfluß des Schüttelns auf den Reaktionsverlauf der Schnecken-Katalase.

17. XII. 1913. Helix pomatia. Leber. Gew. 1,142 g; mit 28,55 ccm H_2O verdünnt (1:25). Filtrat: Braun, trübe, neutral. 1 ccm + 250 n/400-H_2O_2 (= 1:6250).				1 Tag später. 18. XII. 1913. Derselbe Extrakt. 1 ccm + 250 n/400-H_2O_2 (= 1:6250).				17. XII. 1913. Helix pomatia. Ganzes Tier. Gew. 3,012 g; mit 75,3 ccm H_2O verdünnt (1:25). Filtrat: Gelblich, trübe, neutral. 1 ccm + 250 n/400-H_2O_2 (= 1:6250).				Derselbe Extrakt. 1 ccm + 250 n/400-H_2O_2 (= 1:6250).			
Geschüttelt 3h 27′.				Geschüttelt 11h 43′.				Geschüttelt 5h 18′.				Geschüttelt 5h 40′.			
t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′30″	11,25			3′30″	7,03			1′30″	13,71			1′30″	13,50		
		5088	31900			4938	30863			922	5763			1378	8553
3′30″	8,90			5′30″	5,60			3′30″	13,14			3′30″	12,67		
		5844				4992				1435				1340	
5′30″	6,80			7′30″	4,45			6′30″	11,90			6′30″	11,55		
		6302				5215				1515				1642	
8′30″	4,40			9′30″	3,50			10′30″	10,35			11′30″	9,56		
		6804				5635				2253				1600	
11′30″	2,75			11′30″	2,70			14′30″	8,40			14′30″	8,65		
Desgl. nicht geschüttelt 3h 07′.				Desgl. nicht geschüttelt 3h 31′.				Desgl. nicht geschüttelt 5h 36′.				Desgl. nicht geschüttelt 6h 25′.			
t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′30″	8,60			1′30″	11,15			1′30″	14,42			1′30″	14,70		
		4559	28494			4652	29075			876	5475			1546	8663
3′30″	7,30			3′30″	9,00			3′30″	13,85			3′30″	13,69		
		3838				5512				751				1407	
6′30″	5,60			6′30″	6,15			6′30″	13,15			6′30″	12,42		
		3328				3438				361				1026	
9′30″	4,45			9′30″	4,85			10′30″	12,72			10′30″	11,30		
		2865				2971				489				797	
11′30″	3,90			12′30″	3,95			14′30″	12,16			14′30″	10,50		

sich oft noch durch große Unregelmäßigkeiten aus. Ganz ähnliche Verhältnisse finden wir auch bei den Echinodermen, Actinien, Planarien, Muscheln (Tabelle XXXIV). Immer wieder läßt sich hier eine Verbesserung der Gänge durch das Schütteln beobachten. Alle diese Versuche weisen erneut darauf hin, daß zu einer Bewertung möglichst nur die Schüttelversuche heranzuziehen sind.

Was nun die Fermente der verschiedensten Herkunft betrifft, so zeigen sie ein recht wechselndes Verhalten. Die Actinien (Tabelle XXXV) sind im großen und ganzen durch eine sehr gute Konstanz charakterisiert. Vier Fünftel aller Versuche geben auffällig gleiche K-Werte. Unter den Echinodermen (Tabelle XXXVI) hat besonders Asterias die Tendenz zu aufsteigenden Gängen. Aber auch Strongylocentrotus und Cucumaria neigen dazu. Nur Extrakte mit hoher Konzentration wie der Strongylocentrotus-Darm von 22. V. 13 weisen hier einen größeren Abfall auf.

Tabelle XXXIV.

Einfluß des Schüttelns auf den Reaktionsverlauf der Actinien-, Echinodermen-, Muschel-Katalase.

14. II. 14.				14. II. 14.				17. II. 14.			
Actinia equina.				Asterias rubens. Darm.				Anodonta. Ganzes Tier.			
Gew. 5,9294 g; mit 59,29 ccm H_2O verd. (1:10). Filtrat: Opalisierend trübe, neutral. 2 ccm + 250 n/400-H_2O_2 (= 1:1250).				Gew. 1,742 g; mit 34,85 ccm H_2O verd. (1:20). Diese 1:10 verd. Filtrat: Rötlich-braun, trübe, neutral. 2 ccm + 250 n/400-H_2O_2 (= 1:50000).				Gew. 6,7449 g; mit 67,45 ccm H_2O verdünnt (1:10). Filtrat: Gelblich, trübe, neutral. 1 ccm + 250 n/400-H_2O_2 (= 1:2500).			
Geschüttelt 11h 47′.				Geschüttelt 11h 29′.				Geschüttelt 3h 55′.			
t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	14,35			1′	14,15			1′	12,23		
		1326	1658			1724	86200			1833	4583
3′	13,50			3′	13,07			3′	11,24		
		2133				1872				1911	
7′	11,35			7′	11,00			6′	9,85		
		2447				2672				2395	
11′	9,06			11′	8,60			10′	7,90		
		2884				3327				2392	
16′	6,50			16′	5,85			15′	6,00		
Desgl. nicht geschüttelt 11h 44′.				Desgl. nicht geschüttelt 10h 19′.				Desgl. nicht geschüttelt 4h 13′.			
1′	15,00			1′	14,30			1′	11,40		
		1083	1354			1987	99350			2256	5640
3′	14,27			3′	13,05			3′	10,20		
		1180				1709				2165	
7′	12,80			7′	11,15			6′	8,85		
		791				1796				1943	
11′	11,90			11′	9,45			10′	7,40		
		723				1501				1889	
16′	10,95			16′	7,95			16′	5,70		

Die niederen Würmer (Tabelle XXXVII) dagegen kennzeichnen sich recht oft durch fallende *K*-Werte. Seltener schon konnte hier einmal Konstanz beobachtet werden. Aufsteigende Gänge traten fast nie auf.

Demgegenüber stehen die höheren Würmer (Tabelle XXXVIII). Besonders die Versuche von Lumbricus und Spirographis zeigen auffällige Gleichmäßigkeit der *K*-Werte.

Tabelle XXXV.

Schüttelversuche von Coelenteraten.

28. XI. 12.

Actinia equina.

Gew. 5,226 g; mit 52,26 ccm H_2O verdünnt (1:10).

Filtrat: Opalisierend trübe, neutral.

6 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 6:2500).

Geschüttelt 9h 15'.

t	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000
1'30"	13,81		
3'30"	13,10	1146	478
10'30"	10,75	1227	
15'30"	9,26	1296	

Parallelversuch dazu.

Desgl. geschüttelt 9h 45'.

t	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000
1'30"	13,80		
6'30"	11,55	1546	702
10'30"	10,10	1457	
15'30"	8,55	1442	

9. VI. 1913.

Actinolobia dianthus.

Gew. 5,353 g; mit 53,53 ccm H_2O verdünnt (1:10).

Filtrat: Weißlich, trübe, schwach sauer.

4 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 4:2500).

Geschüttelt 5h 17'.

t	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000
1'	13,55		
3'	12,30	2102	1314
6'	10,70	2018	
10'	8,67	2284	
14'	7,08	2200	

7. VI. 1913.

Hydra viridis.

Gew. 0,0623 g; mit 1,246 ccm H_2O verdünnt (1:20).

Filtrat: Gelblich, trübe, neutral.

1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:5000).

Geschüttelt 2h 39'.

t	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000
1'	17,15		
6'	16,00	603	3155
10'	15,10	629	
15'	14,20	534	

Unter den höheren Krebsen (Tabelle XXXIX) ist besonders Astacus ein recht schlechtes Ferment, das sehr große Unregelmäßigkeiten aufweist, während Pagurus wieder annehmbare Werte liefert.

Tabelle XXXVI.

Versuche von Echinodermen.

11. VII. 1913.	22. V. 1913.	22. V. 1913.	11. VII. 1913.
Asterias rubens. Ovarium.	Strongylocentrotus. Leibenhöhlenfl.	Strongylocentrotus. Darm.	Cucumaria planci. Darm.
Gew. 1,2683 g; mit 25,37 ccm H_2O verdünnt (1 : 20).	Abfiltriert und direkt zur Untersuchung genommen.	Gew. 0,832 g; mit 20,8 ccm H_2O verdünnt (1:10).	Gew. 0,1812 g; mit 9,06 ccm H_2O verdünnt (1:50).
Filtrat: Goldgelb, fast klar, neutral.	Filtrat: Gelblich, klar, neutral.	Filtrat: Bräunlich, trübe, neutral.	Filtrat: Bräunlich, trübe, neutral.
1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:5000).	5 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:50).	1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:62500).	1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:12500).
Geschüttelt 9h 13′.	Geschüttelt 10h 07′.	Geschüttelt 11h 05′.	Geschüttelt 9h 30″.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	14,00		
3′	12,75	2031	10155
5′	10,75	2147	
9′	9,60	2008	

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	14,15		
3′	13,35	1264	63
6′	10,95	1604	
10′	10,00	1934	
15′	7,55	2441	

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	9,20		
2′	6,15	17491	1093188
3′	4,20	16563	
5′	2,24	13650	
7′	1,30	11816	

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	13,21		
5′	9,11	4035	50438
7′	7,45	4368	
9′	5,82	5362	

Desgl. geschüttelt 10h 45′

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	13,58		
3′	12,45	1887	9435
9′	9,43	2011	
12′	8,20	2023	

Desgl. geschüttelt 11h 30′

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	14,35		
3′	13,42	1439	70
6′	12,00	1630	
10′	10,15	1818	
16′	7,70	2399	

11. VII. 1913.

Cucumaria planci. Wassergefäß.

Gew. 0,02 g; mit 2 ccm H_2O verdünnt (1:100).

Filtrat: Trübe, neutral.

1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:25000).

5h21′t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	13,51		
12′	11,31	702	17550
18′	10,25	712	
24′	9,25	743	

Desgl. geschüttelt 11h 22′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	12,50		
5′	8,40	4316	53950
7′	6,70	4911	
9′	5,62	5008	

Tabelle XXXVII.

Schüttelversuche von niederen Würmern.

11. VI. 1913.				4. XII. 1912.				11. II. 1913.				11. II. 1913.			
Planaria polychroa.				Ascaris megalocephala. Ältere Eier.				Ascaris megal. Jüngere Eier.				Ascaris megal. Leibeshöhlenfl.			
Gew. 0,2196 g; mit 5,49 ccm H_2O verdünnt (1:25).				Gew. 1,769 g; mit 44,23 ccm H_2O verdünnt (1:25).				Gew. 1,9137 g; mit 19,14 ccm H_2O verdünnt (1:10).				1:5 verdünnt.			
Filtrat: Graubraun, trübe, neutral.				Filtrat: Weißlich, trübe, neutral.				Filtrat: Weißlich, trübe; schwach sauer.				Filtrat: Gelblich, trübe, neutral.			
1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:6250).				5 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:1250).				1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:2500).				4 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:312,5).			
Geschüttelt 10^h 13′.				Geschüttelt 10^h 09′				Geschüttelt 3^h 20′.				Geschüttelt 2^h 29′.			
t	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000	*t*	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000	*t*	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000	*t*	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000
1′	12,25			1′30″	13,65			1′30″	10,25			1′30″	14,60		
		6695	41844			646	808			9006	22515			527	165
3′	9,00			3′30″	13,25			3′30″	6,77			3′30″	14,25		
		6113				615				8746				253	
6′	5,90			10′30″	12,00			6′30″	3,70			6′30″	14,00		
		5993				638				8906				156	
9′	3,90			15′30″	11,15			9′30″	2,00			10′30″	13,80		
		5764												119	
12′	2,68											14′30″	13,65		
Desgl. geschüttelt 9^h 43′.				Desgl. geschüttelt 11^h 23′											
t	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000	*t*	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000								
1′	12,40			1′30″	13,85										
		6364	39775			588	735								
3′	9,25			3′30″	13,48										
		5909				581									
6′	6,15			6′30″	12,95										
		5764				531									
9′	4,13			15′30″	11,60										
		5626													
12′	2,80														

Tabelle XXXVIII.

Versuche von höheren Würmern.

15. I. 1913.

Spirographis Spallanzanii.
Hautschlauch.
Gew. 4,742 g; mit 118,55 ccm H_2O verdünnt (1:25).
Filtrat: Gelbgrün, neutral.
2 ccm + 250 n/400-H_2O_2 (= 1:3125).

Geschüttelt 11h 32'.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1'30"	15,05		
3'30"	14,35	1035	3234
6'30"	13,30	1100	
9'30"	12,40	1014	
12'30"	11,30	1345	

Desgl. geschüttelt 2h 07'.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1'30"	15,70		
3'30"	14,95	1063	3322
6'30"	13,70	1264	
9'30"	12,50	1327	
13'30"	11,60	1082	

28. XI. 1913.

Lumbricus terrestris.
Darm.
Gew. 1,651 g; mit 41,28 ccm H_2O verdünnt (1:25).
Filtrat: Gelblich, neutral.
1 ccm + 250 n/400-H_2O_2 (= 1:6250)

Geschüttelt 10h 31'

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
2'	7,76		
4'	4,27	12972	81075
6'	2,45	12063	
8'	1,50	10654	
11'	0,93	10381	

10. VII. 1913.

Lumbricus terrestris. Darm.
Gew. 0,2848 g; mit 14,2 ccm H_2O verdünnt (1:50).
Diese 2:12 verdünnt.
1 ccm = 250 n/400-H_2N_2 (= 1:75000) 3'09".

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1'	12,25		
3'	9,40	5751	431325
6'	6,45	5452	
7'	5,75	4989	
9'	4,50	5323	

3. VII. 1913.

Lumbricus terrestris.
Ganzes Tier.
Gew. 1,998 g; mit 39,96 ccm H_2O verdünnt.
Filtrat: Rötlich, trübe, neutral.
1 ccm + 250 n/400-H_2O_2 (= 1:5000).

Geschüttelt 10h 25'.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1'	9,60		
2'	6,25	16802	94010
4'	3,20	15455	
8'	0,75	15752	

Weiter 1:5 verdünnt.
Davon 1 ccm + 250 n/400-H_2O_2 (= 1:25000).

Geschüttelt 3h 01'.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1'	12,45		
3'	10,80	3088	87200
6'	8,75	3047	
9'	7,05	3127	
11'	6,10	3142	

20. VI. 1913.

Lumbricus terrestris.
Blut.
Gew. 0,2173 g; mit 10,87 ccm H_2O verdünnt (1:50).
Filtrat: Rötlich, f. klar, neutral.
2 ccm + 250 n/400 H_2O_2.

Geschüttelt 4h 57'.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1'	14,29		
3'	13,35	1478	9238
9'	11,03	1215	
12'	10,00	1419	

Die niederen Krebse (Tabelle XL) schließen sich in ihrem Verhalten mehr dem der Insekten an. Sie neigen trotz des Schüttelns zu absteigenden Gängen. Recht selten wurde einmal Konstanz oder ein aufsteigender Gang bemerkt.

Tabelle XXXIX.

Schüttelversuch von Decapoden.

23. I. 1913. Pagurus Prideauxii. Leber.				23. I. 1913. Pagurus Prideauxii. Darm.				21. XII. 1912. Potamobius ast. Darm.			
Gew. 1,0372 g; mit 25,93 ccm H_2O verdünnt (1:25). Filtrat: Weißlich, trübe, schwach sauer. 2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:3125).				Gew. 0,755 g; mit 18,875 ccm H_2O verdünnt (1:25). Filtrat: Gelblich, trübe, neutral. 5 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:1250).				Gew. 1,117 g; mit 27,93 ccm H_2O verdünnt (1:25). Filtrat: Weißlich, trübe, neutral. 2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:3125).			
Geschüttelt 2h 06′.				Geschüttelt 1h 46′,				Geschüttelt 10h 01′.			
t	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000	*t*	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000	*t*	$KMnO_4$	*K*	Ber. 1:1000
1′30″	14,35	314	971	1′30″	14,00	234	293	1′30″	15,10	204	638
6′30″	13,84	270		3′30″	13,85	252		6′30″	14,75	223	
10′30″	13,50	294		6′30″	13,58	267		10′30″	14,45	213	
15′30″	13,05			10′30″	13,25	300		16′30″	14,10		
				15′30″	12,80						

Die Myriapoden und Spinnen (Tabelle XLI) dagegen lassen fast immer aufsteigende Werte erkennen. Ca. $^9/_{10}$ aller Versuche neigen dazu.

Auch die Muscheln und Schnecken (Tabelle XLII) zeigen recht oft diese Tendenz. Zum großen Teil geben sie aber auch recht gute Konstanz der Werte. Fallende Gänge waren hier äußerst selten.

Was die Haltbarkeit der Extrakte anbelangt, so ist zu bemerken, daß sich die Filtrate unter Anwendung von Chloroform als Antisepticum und Aufbewahren im Eisschrank in geschlossenen Gefäßen längere Zeit ganz gut hielten. Gewöhnlich war mit dem Altern der Extrakte eine Aktivitätsabnahme verbunden. Die Fermente stellten sich bei späteren Parallelversuchen durchschnittlich auf einen niedrigeren Wert ein, zeigten aber dann meist eine gute Konstanz der Gänge. Doch wurden auch solche Extrakte beobachtet, die ihre ursprüngliche Aktivität beibehielten. Um vergleichbare Resultate zu erhalten, ist es daher nötig, die Filtrate möglichst sofort zu untersuchen.

Im getrockneten Zustand ist die katalytische Kraft sehr lange haltbar und sehr widerstandsfähig. Während die Katalase in wässeriger Lösung bei einer Temperatur um 70° C zerstört wird, kann nach Vandevelde und Leboucq (1903) die Blutkatalase im trocknen Zustand bedeutend höheren Temperaturen ausgesetzt werden, ohne völlig zugrunde zu gehen. Auch getrocknete ganze Organismen scheinen die Fähigkeit, Wasserstoffsuperoxyd zu zersetzen, beizubehalten.

Tabelle XL.

Schüttelversuche der niederen Krebse.

9. I. 1913.
Oniscus murarius.
25 Tiere = 1,23 g; mit 30,75 ccm H_2O verdünnt (1:25).
Filtrat: Weißlich, trübe, neutral.
5 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:1250).

Geschüttelt 2h 12'.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1'30"	16,53		
3'30"	16,00	708	885
6'30"	15,35	600	
10'30"	14,55	581	
15'30"	13,60	586	

21. I. 1913.
Asselus aquaticus.
62 Tiere = 1,133 g; mit 28,3 ccm H_2O verdünnt (1:25).
Filtrat: Braun, trübe, neutral.
5 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:1250).

Geschüttelt 12h 46'.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1'30"	13,25		
6'30"	12,94	203	254
10'30"	12,75	158	
14'30"	12,60	126	

19. XII. 1912.
Daphnia.
In der Sonne getrocknet 0,62 g; mit 31 ccm H_2O verdünnt (1:50).
Filtrat: Rotbraun, trübe.
2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:6250).

Geschüttelt 4h 33'.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1'30"	13,30		
6'30"	6,05	6842	42762
10'30"	3,25	6747	

Getrocknete Exemplare: 42762.

9. VII. 1913.
Daphnia.
Gew. 4,1968 g; mit 41,96 ccm H_2O verdünnt. Trockengew. 4,32%.
Filtrat: Rotbraun, trübe, neutral.
2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:1250).

Geschüttelt 9h 13'.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1'	13,64		
3'	12,69	1568	1960
6'	11,20	1808	
9'	9,82	1904	
12'	8,65	1836	

Auf Trockengew. ber. = 45284.

Im Gegensatz zu Kobert, der bei eingetrockneten Tieren keine Katalase mehr nachweisen konnte, machte Ostwald die Beobachtung, daß sich in getrockneten Porthesia-Räupchen die Katalysierfähigkeit erhielt. Ebenso bestätigt dies Choay für

Tabelle XLI.

Schüttelversuche der Myriapoden und Spinnen.

6. V. 1913.

Julus unilineatus.

3 Tiere = 0,4478 g; mit 11,195 ccm H_2O verdünnt (1:25).

Filtrat: Bräunlich, trübe, neutral.

2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:3125).

Geschüttelt 11^h 27′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	14,50		
3′	13,25	1959	6122
6′	10,05	2628	
10′	8,55	2535	
14′	6,35	3232	

Desgl. geschüttelt 2^h 10′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	14,50		
3′	13,35	1795	5609
6′	11,70	1910	
10′	9,70	2033	
14′	7,20	3234	

22. V. 1913.

Scolopendra morsitans.

Gew. 0,2403 g; mit 6,0 ccm H_2O verdünnt (1:25).

Filtrat: Opalisierend trübe, neutral.

1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:6250).

Geschüttelt 11^h 47′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	12,65		
3′	8,50	8634	53962
6′	4,75	8424	
12′	1,50	8343	

6. VIII. 1913.

Epeira diadema.

Gew. 0,428 g; mit 21,400 ccm H_2O verdünnt (1:50).

Filtrat: Bräunlich, trübe, neutral.

1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:12500).

Geschüttelt 9^h 28′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	16,00		
2′	14,80	3386	42325
4′	12,44	3772	
6′	10,40	3890	
8′	8,59	4152	

Desgl. geschüttelt 4^h 13′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	12,06		
3′	10,35	3321	41513
7′	7,30	3792	
9′	5,91	4587	
10′	5,35	4324	

15. VII. 1913.

Tegeneria domestica.

Gew. 0,2653 g; mit 13,3 ccm H_2O verdünnt (1:50).

Filtrat: Weißlich, trübe, neutral.

1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:12500).

Geschüttelt 8^h 02′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	12,45		
3′	10,75	3188	39850
5′	9,32	3100	
11′	5,60	3787	

Desgl. geschüttelt 10^h 10′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	11,40		
6′	7,60	3306	41325
9′	5,95	3543	
12′	4,50	4044	

getrocknete Pflanzen. Auch ich konnte mehrfach, besonders an Schnecken (Tabelle XLVII) feststellen, daß unter geeigneten Vorsichtsmaßregeln die Katalase in den getrockneten Exemplaren nicht zugrunde geht. Es wurden z. B. mehrere Schnecken zerkleinert; der eine Teil davon wurde sofort untersucht, der andere zur Trockengewichtsbestimmung im Exsiccator über Chlorcalcium und im Eisschrank aufbewahrt. Nach ca. $^1/_2$ Jahre wurde dieser getrocknete Rückstand, der solange im Eisschrank gestanden hatte, abgewogen, fein zerpulvert und 2 Tage extrahiert. Die auf das Trockengewicht berechneten und die durch Untersuchung getrockneter Tiere erhaltenen Konstanten zeigten eine auffällig gute Übereinstimmung (Tabelle XLIII). Auch Daphniden (Tabelle XL), die einmal in der Sonne getrocknet, bei einem andern Versuch sofort untersucht und auf das Trockengewicht berechnet worden waren, ließen diese bemerkenswerte Gleichheit erkennen. Selbstverständlich müssen hierbei die nötigen Vorsichtsmaßregeln angewandt werden; vor allen Dingen sind zu hohe Temperaturen zu vermeiden, und außerdem müssen die Tiere möglichst schnell getrocknet werden, damit nicht Bakterien und Fäulnis die Katalase zerstören.

Eine Erscheinung, auf die schon anfangs aufmerksam gemacht wurde, muß besonders noch hervorgehoben werden. Es gelingt nicht, durch Extraktion mit Wasser alle Katalase aus den Geweben zu entfernen. Davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man nach dem Abfiltrieren den Rückstand wieder mit Wasser ansetzt. Man wird dann noch stets eine wirksame Lösung, wenn auch von geringerer Aktivität erhalten. Das Auffällige ist nun, daß bei Herstellung mehrerer Extrakte, bei denen die Verdünnung gleich gewählt wird, die erzielte Aktivität der Extrakte die gleiche ist. Die Übereinstimmung ist im allgemeinen sehr gut. Besonders merkwürdig sind nun auch die oben skizzierten Fälle, wo die getrockneten und lange aufbewahrten Extrakte später die gleiche Wirksamkeit zeigen. Die Bedeutung der Unvollständigkeit der Extraktion ist natürlich sehr groß. Sie besagt, daß wir in keinem Falle die absolute Höhe der Katalase bestimmen, sondern nur die ihres gelösten Anteils, dessen Größe von den Versuchsbedingungen abhängig ist.

Tabelle XLII.

Versuche von Mollusken.

5. VI. 1913.

Anodonta.
Ganzes Tier.
Gew. 5,9821 g; mit 59,82 ccm H_2O verdünnt (1:10).
Filtrat: Gelb, trübe, neutral.
1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:2500).

Geschüttelt $9^h\,06'$.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	13,55		
		2638	
3′	12,00		6595
		2858	
6′	9,85		
		3102	
9′	7,95		
		2804	
12′	6,55		

Desgl. geschüttelt $11^h\,28'$.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	13,33		
		2740	
3′	11,75		6850
		2701	
6′	9,75		
		2506	
9′	8,20		
		2710	
12′	6,80		

30. I. 1913.

Mytilus edulis.
Blut.
Gew. 0,671 g; mit 6,71 ccm H_2O verdünnt (1:10):
Filtrat: Klar, neutral.
5 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:500).

Geschüttelt $8^h\,30''$.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′30″	14,50		
		1075	
3′30″	13,80		538
		1490	
6′30″	12,45		
		1696	
10′30″	10,65		
		1908	
15′30″	8,55		

28. VII. 1913.

Murex brandaris. Leber.
Gew. 1,862 g; mit 39,24 ccm H_2O verdünnt (1:20)
Filtrat: Gelbbraun, trübe, neutral.
1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:5000). $8^h\,51'$.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′	13,65		
		1618	
3′	12,67		8090
		1822	
6′	11,00		
		1965	
12′	8,60		

16. XII. 1912.

Limnaea stagnalis.
Ganzes Tier.
Gew. 1,307 g; mit 32,68 ccm H_2O verdünnt (1:25).
Filtrat: Gelblich, trübe, neutral.
2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:3125).

Geschüttelt $12^h\,18'$.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′30″	13,34		
		2191	
3′30″	12,06		6847
		2088	
6′30″	10,44		
		2068	
9′30″	9,05		
		2152	
12′30″	7,80		

Desgl. geschüttelt $2^h\,20'$.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′30″	13,10		
		2215	
3′30″	11,83		6922
		2289	
6′30″	10,10		
		2243	
9′30″	8,65		
		2132	
12′30″	7,45		

22. XI. 1912.

Helix pomatia. Darm.
Gew. 0,824 g; mit 20,6 ccm H_2O verdünnt (1:25). Weiter 1:4 verdünnt.
Filtrat: Gelblich, trübe, neutral.
1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:6250).

Geschüttelt $11^h\,30'$.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′30″	13,77		
		1502	
3′30″	12,85		46938
		1670	
6′30″	11,45		
		1801	
10′30″	9,70		
		1957	
14′30″	8,10		

Desgl. geschüttelt $12^h\,15'$.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1′30″	10,45		
		7642	
3′30″	7,35		47763
		6320	
6′30″	4,75		
		6896	
9′30″	2,95		
		6755	
12′30″	1,85		

Tabelle XLIII.

Haltbarkeit der Katalase in getrockneten Organismen.

Helix pomatia, ganzes Tier, zerrieben; davon:
a) Zur sofortigen Untersuchung 8,229 g; mit 82,29 ccm H_2O verdünnt (1 : 10).
Filtrat: Gelblich, trübe, neutral.
1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 2500).

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1000	Auf Trockengewicht
1′	12,90			
3′	11,30	2876	7260	52220
6′	9,20	2976		
9′	7,30	3349		
12′	5,85	3330		

b) Zum Trocknen angesetzt: 9,873 g, nach $^1/_2$ Jahr im Exsiccator: 1,3686 g. Diese mit 27,372 ccm H_2O verd. (1 : 20); weiter 1 : 10 verd.
Filtrat: Bräunlich, trübe, neutral.
2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 25000).

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000
1′	13,05		
3′	11,85	2095	52375
5′	10,30	2217	
8′	9,10	2345	
10′	7,95	2939	

Helix pomatia, ganzes Tier, zerrieben; davon:
a) Zur sofortigen Untersuchung 8,1019 g; mit 81,02 ccm H_2O verdünnt (1 : 10).
Filtrat: Gelblich, trübe, neutral.
1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (1 : 2500).

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	Auf Trockengewicht
1′	12,75			
3′	10,80	3261	8153	33539
6′	8,30	3845		
9′	6,27	4063		
12′	4,55	4642		

b) Zum Trocknen angesetzt: 9,0614 g, nach $^1/_2$ Jahr im Exsiccator: 2,1959 g. Diese mit 21,9 ccm H_2O verd. (1 : 20); weiter 1 : 10 verd.
Filtrat: Bräunlich, trübe, neutral.
2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 25000).

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000
1′	14,05		
3′	13,33	1264	31600
6′	12,25	1245	
8′	11,55	1278	
10′	10,85	1358	

Von großem Interesse ist auch eine weitere Beobachtung. Es ergab sich, daß die Extrakte selbst, ohne daß irgendetwas dazu filtriert worden war, bei längerem Stehen eine Aktivitätszunahme erkennen ließen. Schon nach 3 bis 4 Stunden war eine derartige Zunahme, die oft das Doppelte des ursprünglichen Wertes erreichte, nachzuweisen. Neben den Schnecken (Tabelle XLIV) kommen in dieser Hinsicht auch Spirographis Spallanzanii (Tabelle XLV) und die Vanessa-Arten in Betracht. Bemerkenswert ist, daß nicht alle Extrakte der betreffenden Tierart diese Zunahme zeigen. Sie stellt sich vielmehr nur manchmal ein, macht sich aber dann bei sämtlichen Organen bemerkbar. Z. B. zeigten bei Spirographis (Tabelle XLV) sämtliche Extrakte der am 23. VII. 1913 untersuchten Exemplare deutliche Aktivierung, während die am 13. I. 1913 verarbeiteten fast konstant blieben.

Tabelle XLIV.

Aktivitätszunahme bei längerem Stehen.

2. VI. 1913.				13. VII. 1913.				13. VII. 1913.				13. VII. 1913.			
Helix pomatia. Leber.				Helix hortensis. Leber.				Helix hortensis. Niere.				Helix hortensis. Darm.			
Gew. 1,275 g; mit 31,875 ccm H_2O verdünnt (1 : 25), weiter 1 : 5 verdünnt.				Gew. 2,238 g; mit 223,8 ccm H_2O verdünnt (1 : 100).				Gew. 1,147 g; mit 114,7 ccm H_2O verdünnt (1 : 100).				Gew. 0,1997 g; mit 19,87 ccm H_2O verdünnt (1 : 100).			
Filtrat: Bräunlich, trübe, neutral.				Filtrat: Gelblich, trübe, neutral.				Filtrat: Gelblich, trübe, neutral.				Filtrat: Gelblichbraun, trübe, neutral.			
1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 31 250).				1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 25 000).				1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 25 000).				1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 25 000).			
Geschüttelt am 2. VI. 11^h 23′.				Geschüttelt am 13. VII. 8^h 30″.				Geschüttelt am 13. VII. 5^h 11′.				Geschüttelt am 13. VII. 5^h 38′.			
t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000
1′	13,35			1′	12,55			1′	12,36			1′	12,60		
		3054	95438			3976	99400			2915	72875			4210	105250
3′	11,60			3′	10,45			5′	9,45			5′	8,55		
		2737				4536				2949				4036	
6′	9,60			5′	8,48			7′	8,25			7′	7,10		
		2639				5019				3047				3180	
9′	8,00			7′	6,73			9′	7,17			10′	5,70		
		2567				5270									
12′	6,70			9′	5,25										
Geschüttelt am 3. VI. 8^h 56′.				Geschüttelt am 13. VII. 2^h 34′.				Geschüttelt am 14. VII. 9^h 25′.				Geschüttelt am 14. VII. 2^h 15′.			
t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000
1′	12,50			1′	11,37			1′	11,37			1′	9,55		
		5732	179125			5814	145350			4846	121150			9984	249600
3′	9,60			3′	8,70			3′	9,10			3′	6,05		
		5207				5673				5201				9463	
6′	6,70			6′	6,70			8′	5,00			5′	3,95		
		4828				6220				6015				9015	
9′	4,80			7′	3,38			11′	3,30			9′	1,70		
		4781				8426									
12′	3,45			9′	2,70										

Tabelle XLV.

Aktivitätszunahme bei längerem Stehen der Spirographis-Katalase.

13. I. 1913.

Spirographis Spall.
Ganzes Tier.

Gew. 2,842 g; mit 28,42 ccm H_2O verdünnt (1 : 10).

Filtrat: Gelbgrün, neutral.
1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 2500).

Geschüttelt 11h 43′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	
1′ 30″	14,15			
3′ 30″	12,94	1942		4857
6′ 30″	11,15	2155		
11′ 30″	8,67	2185		
14′ 30″	7,30	2735		

Desgl. geschüttelt 2h 34′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	
1′ 30″	15,00			
3′ 30″	13,45	2369		5923
6′ 30″	11,55	2267		
10′ 30″	9,70	1848		
15′ 30″	7,75	2166		

13. I. 1913.

Spirographis Spall.
Kiemen.

Gew. 0,777 g; mit 19,43 ccm H_2O verdünnt (1 : 25).

Filtrat: Klar, grün, neutral.
2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 3125).

Geschüttel 12h 03′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	
1′ 30″	14,65			
3′ 30″	13,80	1298		4056
9′ 30″	11,45	1351		
12′ 30″	10,40	1391		

Desgl. geschüttelt 2h 40′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	
1′ 30″	14,70			
3′ 30″	13,85	1294		4044
6′ 30″	12,60	1369		
12′ 30″	10,30	1459		

13. I. 1913.

Spirographis Spall.
Darm.

Gew. 0,499 g; mit 12,48 ccm H_2O verdünnt (1 : 25).

Filtrat: Gelbgrün, neutral.
2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 3125).

Geschüttelt 11h 47′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	
1′ 30″	13,30			
3′ 30″	10,70	4724		14763
6′ 30″	7,75	4484		
12′ 30″	4,20	4527		

Desgl. geschüttelt 2h 44′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	
11′ 30″	13,30			
4′ 30″	9,25	5257		16428
6′ 30″	7,35	4993		
12′ 30″	3,85	4681		

23. VII. 1913.

Spirographis Spall.
Hautschlauch.

Gew. 2,1301 g; mit 21,3 ccm H_2O verdünnt (1 : 10).

Filtrat: Grünlich, klar, neutral.
1 ccm + 250 $^n/_{400}$ H_2O_2 (= 1 : 2500).

Geschüttelt 10h 34′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	
1′	9,70			
6′	7,81	1882		4705
9′	6,85	1899		
12′	6,05	1798		

Desgl. geschüttelt 2h 30′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	
1′	12,55			
3′	11,00	2863		7158
9′	7,40	2852		
12′	5,80	3193		

23. VII. 1913.

Spirographis Spall.
Kiemen.

Gew. 0,6886 g; mit 17,22 ccm H_2O verdünnt (1 : 25).

Filtrat: Grünlich, klar, neutral.
2 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 3125).

Geschüttelt 11h 31′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	
1′	11,80			
3′	11,21	1114		3481
6′	10,24	1310		
9′	9,08	1740		
12′	8,03	1779		

Desgl. geschüttelt 3h 06′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	
1′	12,90			
5′	10,30	2444		7638
7′	9,25	2335		
9′	8,23	2537		
12′	6,81	2742		

23. VII. 1913.

Spirographis Spall.
Darm.

Gew. 0,2995 g; mit 14,975 ccm H_2O verdünnt (1 : 50).

Filtrat: Grünlich, f. klar, neutr.
1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1 : 12500).

Geschüttelt 10h 54′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	
1′	10,25			
7′	8,82	1088		13600
10′	8,15	1144		
12′	7,75	1093		

Desgl. geschüttelt 2h 58′.

t	$KMnO_4$	K	Ber. 1 : 1000	
1′	13,30			
3′	12,15	1964		24550
6′	10,37	2293		
12′	7,75	2108		

Eine andere Erscheinung wäre hier auch noch zu erwähnen. Wie schon gesagt, ist mit dem Altern sehr oft eine Aktivitätsabnahme verbunden, wobei dann die Fermente aber allmählich konstant werden. Eine Reihe von Filtraten nahmen nun bei gar nicht zu langem Stehen ganz bedeutend an Aktivität ab, so daß sie sehr rasch fast inaktiv wurden. Die Gänge dieser Fermente zeigen dazu meist noch einen sehr steilen und unregelmäßigen Abfall. Besonders die Filtrate von Potamobius und Pieris brassicae (Tabelle XLVI) verhielten sich in dieser Hinsicht sehr auffällig.

Tabelle XLVI.

Steil abfallende Gänge von Pieris brassicae-Puppen.

12. XII. 12. 6 Pupp. = 1,716 g; mit 42,9 ccm H_2O verd. (1:25). Filtrat: Gelb-bräunlich, neutr. 1 ccm + 250 n/400-H_2O_2 (1:6250).				Das gleiche Filtrat.				Das gleiche Filtrat.			
Sofort untersucht 10^h 09'.				Desgl. untersucht 4^h 30'.				Desgl. untersucht am 13. XII. 9^h 47'.			
t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000	t	$KMnO_4$	K	Ber. 1:1000
1' 30"	14,16			1' 30"	13,53			1' 30"	15,00		
		4051	25378			2788	17425			2005	12531
3' 30"	11,75			3' 30"	11,90			3' 30"	13,06		
		2481				1881				1748	
7' 30"	9,35			6' 30"	10,45			6' 30"	12,05		
		1993				1150				1663	
11' 30"	7,86			10' 30"	9,40			11' 30"	9,95		
		1880				778				1293	
14' 30"	6,85			14' 30"	8,75			14' 30"	9,10		

Eine dritte Schwierigkeit in der Bewertung der Anfangswerte bestand darin, daß einerseits die Gänge mit niedrigen Konstanten begannen und dann eine aufsteigende Tendenz erkennen ließen und anderseits bei den Parallelversuchen öfters mit hohen K-Werten einsetzten und dann im Laufe der Reaktion abfielen. Besonders bei den Schnecken wurden derartige Beobachtungen hin und wieder gemacht. In Tabelle XLVII sind mehrere Beispiele dafür angegeben. Trotz der verschiedenen Anfangswerte pendeln doch die Gänge um einen Durchschnittswert herum. Eine Reihe von Parallelversuchen führt also auch hier zu einem annehmbaren Mittelwert.

Derartige Unregelmäßigkeiten sind bei den Fermentuntersuchungen immer anzutreffen. Sie sind auch zu verstehen und zu erwarten aus dem, was wir über Kolloide wissen. Sowohl die Aktivierungen bei der Schnecken- und Spirographis-Katalase als auch die Aktivitätsabnahmen sind von folgendem

Tabelle XLVII.

Parallelversuche zur Feststellung des Anfangswertes bei schwankenden Konstanten.

17. XII. 1912. Helix pomatia. Leber. Gew. 1,142 g; mit 28,55 ccm H_2O verdünnt (1:25). Filtrat: Bräunlich, trübe, neutral. 1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:6250).	Dasselbe Filtrat.	17. XII. 1912. Helix pomatia. Darm. Gew. 0,406 g; mit 10,2 ccm H_2O verdünnt (1:25). Filtrat: Gelblichbraun, neutral. 1 ccm + 250 $^n/_{400}$-H_2O_2 (= 1:6250).	Das gleiche Filtrat.
Geschüttelt 3h 03′.	Desgl. geschüttelt 4h 06′.	Geschüttelt 4h 22′.	Desgl. geschüttelt 4h 53′.
t KMnO4 K Ber. 1:1000	t KMnO4 K Ber. 1:1000	t KMnO4 K Ber. 1:1000	t KMnO4 K Ber. 1:1000
1′ 30″ 9,00 8093 50581	1′ 30″ 10,75 6662 41637	1′ 30″ 10,90 5839 36494	1′ 30″ 11,00 5727 35794
3′ 30″ 6,20 7409	3′ 30″ 7,91 5242	3′ 30″ 8,33 5555	3′ 30″ 8,45 5865
9′ 30″ 2,20 4969	8′ 30″ 4,25 4339	5′ 30″ 6,45 5541	5′ 30″ 6,45 5636
11′ 30″ 1,75	12′ 30″ 2,85	11′ 30″ 3,00	8′ 30″ 4,37 5445
			11′ 30″ 3,00
Desgl. geschüttelt 3h 37′.	Desgl. geschütt. a. 18.XII. 4h 03′.	Desgl. geschüttelt 4h 36′.	
t KMnO4 K Ber. 1:1000	t KMnO4 K Ber. 1:1000	t KMnO4 K Ber. 1:1000	
1′ 30″ 11,25 5088 31800	3′ 30″ 7,03 4938 30863	1′ 30″ 10,54 4750 29687	—
3′ 30″ 8,90 5844	5′ 30″ 5,60 4992	3′ 30″ 8,70 4566	
5′ 30″ 6,80 6302	7′ 30″ 4,45 5215	5′ 30″ 7,05 4773	
8′ 30″ 4,40 6802	9′ 30″ 3,50 5635	8′ 30″ 5,07 4366	
11′ 30″ 2,75	11′ 30″ 2,70	11′ 30″ 3,75	

Gesichtspunkte erklärbar. Bei längerem Stehen muß man erwarten, daß sich die physikalischen Zustände der kolloidalen Systeme ändern und daß damit Adsorptionsänderungen parallel gehen, die wieder auf die Aktivität der Katalase von großem Einfluß sind. Etwas anders liegen die Verhältnisse bei den unregelmäßigen und sehr schnell und steil abfallenden Katalasepräparaten, z. B. von Pieris brassicae, Potamobius astacus und den Pilzen. Hier muß man annehmen, daß neben physikalischen Faktoren auch chemische mit im Spiele sind. Es handelt sich in diesem Falle wahrscheinlich um Gifte für die Katalase, die im Organismus von der Katalase irgendwie getrennt sind, beim Verreiben aber mit diesem Fermente zusammenkommen.

Auch das Auftreten der Gänge bei der Berechnung der K-Werte nach der Reaktionsgleichung erster Ordnung ist verständlich. In Wirklichkeit verläuft die fermentative Hydroperoxydzersetzung gar nicht nach der Reaktion erster Ordnung. Wir benutzen nur für die Berechnung diese Formel, um die Ergebnisse übersichtlich darstellen zu können, da die fermentative H_2O_2-Zersetzung annähernd danach verläuft. Im Grunde genommen müßte man die graphische Darstellung wählen. Doch ist es unmöglich, derartige Versuchsserien, wie sie hier gewonnen werden, auf diese Weise übersichtlich darzustellen.

Für eine vergleichende Wertung sind die obengenannten Einflüsse sehr störend. Man kann sich aber durch eine größere Serie von Parallelversuchen gegen die sich daraus ergebenden Fehler schützen. Es war direkt überraschend, wie gut übereinstimmende Durschschnittswerte man selbst bei den schwierigsten Objekten mit der nötigen Ausdauer erhielt.

Zusammenfassung.

Auf Grund einer neuen verbesserten Methodik und auf Grund von wichtigen Befunden an den Insekten von Steche und Waentig stellte sich die Notwendigkeit heraus, die Verteilung der Katalase in den Organismen und ihren Organen festzustellen und zu versuchen, ob sich aus dieser Verteilung der Katalase auch Schlüsse auf ihre physiologische Funktion ziehen ließen.

Als Versuchsmaterial wurden die niederen Tiere gewählt, da sie bis jetzt verhältnismäßig wenig auf die Katalase hin untersucht worden waren. Mit Ausnahme der Protozoen wurden aus fast allen Tiergruppen Organismen geprüft.

Es ergab sich dabei, daß eindeutige Beziehungen zur Lebensweise der Organismen, speziell zur Intensität der Oxydationsprozesse, sich nicht aufstellen ließen. Weder Atmung (speziell Luft- oder Wasseratmung) noch Ernährung, noch Bewegung ließen in durchsichtiger Weise einen Einfluß auf den Katalasegehalt erkennen.

Daß Katalasegehalt und Stoffwechsel in gesetzmäßigem Zusammenhang stehen, geht aus folgendem hervor:

1. Diejenigen Organe, die besonders chemisch tätig sind, wie die Leber und die Niere, zeichnen sich durch einen hervorragenden Gehalt an Katalase aus. Dieses Verhalten trifft sowohl für die wirbellosen als auch für die Wirbeltiere zu.

Der Darm zeigt ein wechselndes Verhalten, das davon abhängig zu sein scheint, inwieweit er die Funktion der Leber (Mitteldarmdrüse) mit übernehmen muß.

Der Hautmuskelschlauch ist meist wenig aktiv. Das Fettgewebe ist sehr reich an Katalase, speziell bei Insekten, wo es im Stoffwechsel sicher eine wichtige Rolle spielt.

Bei der Lymphe ergibt sich eine ausgesprochene Parallelität zwischen Katalasegehalt und Reichtum an Hämoglobin einerseits, an geformten Bestandteilen andererseits.

2. Es gelang nachzuweisen, daß im Winter, im Zustande geringer Lebenstätigkeit, der Katalasegehalt des Darmes der Echinodermen, von Lumbricus, der Schnecken bedeutend geringer ist als im Sommer. Auffällig trat bei den Schnecken und dem Igel die zeitliche Parallelität zwischen dem Katalase- und Glykogengehalt in der Leber hervor (gegensätzliches Verhalten während des Winterschlafes).

3. Unreife Eier sind sehr aktiv, die reifen Eier haben nur geringe katalytische Kraft. Dotterarme, also frühschlüpfende Eier lassen während der Entwicklung keine Zunahme erkennen; dotterreiche und die Embryonen der Säugetiere erzielen während des Embryonallebens schon eine größere Aktivität, ohne aber die für die jeweiligen Arten charakteristischen Werte zu erreichen. Erst im Moment der Geburt, wenn die Organe ihre

volle Funktion aufnehmen, nimmt die Katalase rapid bis zu einem Maximum zu, um dann wieder abzufallen.

4. Charakteristisch sind die Verhältnisse bei der postembryonalen Entwicklung der Insekten. Tiere mit hemimetaboler Entwicklung lassen keinen Unterschied zwischen den ausgewachsenen und sich entwickelnden Organismen erkennen. Bei den holometabolen Gruppen (Lepidopteren) dagegen sind die jüngsten Larvenstadien sehr aktiv. Dann sinkt der Katalasegehalt und erreicht sein Minimum etwa bei der vorletzten Häutung. Hierauf nimmt er rapid zu, erreicht das Maximum in der Puppe und fällt gegen die Imago wieder steil ab. Es besteht hierbei eine eindeutige Beziehung zu der auf Kosten des Fettgewebes erfolgenden Ausbildung der Geschlechtsprodukte. Daher lassen Tiere mit kurzer Puppenruhe eine schnelle Abnahme des Katalasegehaltes erkennen. Bei überwinternden Puppen tritt sie erst kurz vor dem Schlüpfen ein, wenn die Geschlechtsprodukte gebildet werden. Erfolgt die Geschlechtsreife erst längere Zeit nach dem Schlüpfen (Tagfalter, Coleopteren), so sind auch die Imagines zuerst noch stark aktiv.

Die messende Verfolgung des Reaktionsverlaufes begegnet großen Schwierigkeiten, die es nicht gestatten, absolute und exakte Werte für den Katalasegehalt der einzelnen Gewebe zu erhalten. In erster Linie kommen hierfür die unvollständige Extrahierbarkeit und die große Labilität der Fermentlösungen in Betracht. Durch eine hinreichende Zahl von Parallelversuchen gelingt es jedoch, überraschend gute Durchschnittswerte zu erhalten.

Die Kinetik der Reaktion fügt sich, soweit untersucht, durchweg dem von Steche und Waentig aufgestellten Schema der Adsorptionskatalyse an.

Verfasser der Arbeit, evang.-luth., wurde am 3. Februar 1890 in Frankenberg i. Sa. geboren. Er besuchte dort vier Jahre die Bürgerschule und sechs Jahre die Realschule, um dann Ostern 1907 auf die Oberrealschule nach Chemnitz überzugehen. Ostern 1910, nach erlangter Reife, bezog er die Universität Leipzig, um sich dort dem Studium der Naturwissenschaft zu widmen. Seine akademischen Lehrer, denen er für die erhaltenen Anregungen lebhaft dankt, waren die Herren: Barth, Chun, Credner, Hantzsch, Hempelmann, Jungmann, Miehe, Pfeffer, Rinne, Simroth, Spalteholz, Spranger, Steche, Waentig, Wagner, Wiener, Woltereck, Wundt.